

Министерство образования Республики Беларусь
учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники»

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

TECHNOLOGIES OF INFORMATION TRANSMISSION AND PROCESSING

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СЕМИНАРА
(Минск, апрель 2024 г.)

Минск, 2024

УДК 654.1:004.056.5
ББК 32.88+32.971.35-5
Т38

Научный программный комитет:

В. Ю. Цветков, Н. И. Листопад, Б. В. Никульшин, И. С. Азаров, В. А. Вишняков,
С. А. Золотой, А. А. Пилюшко, С. Н. Касанин, Ю. В. Брутан,
О. Дж. М. Аль-Фурайджи, В. К. Конопелько, В. В. Муравьев, Д. А. Сикорский

Т38 **Технологии** передачи и обработки информации = Technologies of Information Transmission and Processing : материалы Международного научно-технического семинара (Минск, апрель 2024 г.). – Минск : БГУИР, 2024. – 115 с.

ISBN 978-985-543-768-1.

Сборник содержит статьи, тематика которых посвящена научно-теоретическим разработкам в области сетей телекоммуникаций, информационной безопасности, технологий передачи и обработки информации.

Предназначен для научных сотрудников в области инфокоммуникаций, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических вузов.

Научное издание

Корректор *В.В. Чепикова*

Ответственный за выпуск *В.Ю. Цветков*

Компьютерный дизайн и верстка *Е.Г. Макейчик*

Подписано в печать 29.05.2024. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 13,72. Уч.-изд. л. 13,0. Тираж 50 экз. Заказ 76.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск,

ISBN 978-985-543-768-1

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

М.Ю. Ловецкий, И.И. Левоненко, Е.Г. Макейчик, В.Ю. Цветков, В.А. Лапицкая, С.А. Чижик Взвешенное сложение АСМ-изображений на основе локальной корреляции с учетом размеров их областей	5
V.V. Kizimenka, S.A. Karaneuski, N.M. Naumovich Numerical modeling of multibeam microstrip antenna arrays for telecommunication systems using the integral equation method.....	11
И. Чэнь, Ц. Го, Ц. Ма, С.Х. Жэнь, С.В. Литвинов, М.И. Зорько, В.Ю. Цветков Двухсенсорная посадочная система тяжелого беспилотного летательного аппарата вертолетного типа	14
Д.В. Понкратов, А.В. Шилов, А.Б. Сотский, М.М. Назаров Пропускание коаксиального диэлектрического волновода	20
Е.В. Довгулевич, В.С. Шука, О.Г. Шевчук Программное средство пошагового анализа алгоритмов поиска и сортировки данных.....	23
А.Д. Робачевский, Д.А. Сикорский, С.А. Москалёв, В.В. Чепикова, В.Ю. Цветков Тоновое преобразование инфракрасных изображений на основе пороговой обработки гистограммы ...	30
А.А. Позняк, К.Г. Толейко, Т.В. Полуян Моделирование сети MANET в симуляторе NS-3	36
И.П. Кобяк Синтез помехозащищенных каналов связи на основе дифференциальных и интегральных преобразований в структуре водородоподобных атомов	44
В.В. Рабцевич, В.Ю. Цветков Оценка точности градиентной волновой сегментации АСМ-изображений.....	50
С.Н. Петров, В.Н. Романович, А.А. Сергановский Анализ событий информационной безопасности с использованием SSH-хэширования Cowrie	54
P. Zeng, Y. Wang, Z.J. Wei, V.Yu. Tsvetkov Image compression method based on wavelet transform.....	58
Liu Yu Resource allocation scheme based on gray wolf optimization algorithm in mobile edge computing.....	63
Hao Li Estimation of downsampling influence on accelerometer signal quality	68
Chen Yiming Methods of extract features from image in visual simultaneous localization and mapping	75
Qicheng Guo Implementation principle of monocular ranging.....	78
С.Н. Петров, С.А. Шавловский, А.О. Родулевич Сравнение эффективности алгоритмов классификации для обнаружения признаков DDoS-атак IoT-ботнетов	83
Hao Li Analysis of human gait balance based on plantar pressure sensors	86
Zhao Yi'an Crimp wheel extraction of iris images during iris diagnosis	92
Wei ZiJian, Zeng Peng, Wang Ying BATMAN-ADV an energy-efficient wireless routing protocol for dynamic AD hoc networks	96
И.В. Тимошкевич, К.А. Полтавцев Технология интернета вещей в жизни и в ЖКХ	100
Yalu Gao Application of blockchain in electronic healthcare record.....	106
He Tao Grad-Cam visualization model for lung disease diagnosis	109

CONTENTS

M.Yu. Lavetski, I.I. Liavonenka, E.G. Makeichik, V.Yu. Tsviatkou, V.A. Lapitskaya, S.A. Chizhik Weighted composition of AFM images based on local correlation with account the sizes of their areas.....	5
V.V. Kizimenka, S.A. Karaneuski, N.M. Naumovich Numerical modeling of multibeam microstrip antenna arrays for telecommunication systems using the integral equation method.....	11
Y.M. Chen, Z. Go, J. Ma, X.H. Ren, S.V. Litvinov, M.I. Zorko, V.Yu. Tsviatkou Dual-sensory landing system for heavy helicopter-type unmanned aircraft	14
D.V. Ponkratov, A.V. Shilov, A.B. Sotsky, M.M. Nazarov Transmission of a coaxial dielectric waveguide	20
E.V. Dovgulevich, V.S. ShUKa, O.G. Shevchuk Software for step-by-step analysis of data search and sorting algorithms	23
A.D. Robachevsky, D.A. Sikorsky, S.A. Moskalev, V.V. Chepikova, V.Yu. Tsviatkou Tone transformation of infrared images based on histogram thresholding	30
A.A. Pazniak, K. G. Taleika, T.V. Paluyan Simulation of the MANET network in the NS-3 simulator	36
I.P. Kobyak Synthesis of noise-resistant communication channels with using differential and integral transformation of hydrogen-like atoms.....	44
V. V. Rabtsevich, V. Yu. Tsviatkou Assessment of the accuracy of gradient wave segmentation of AFM-images	50
S.N Petrov, V.N. Romanovich, A.A. Serganovsky Analysis of information security events using Cowrie SSH honeypot	54
P. Zeng, Y. Wang, Z.J. Wei, V.Yu. Tsvetkov Image compression method based on wavelet transform.....	58
Liu Yu Resource allocation scheme based on gray wolf optimization algorithm in mobile edge computing.....	63
Hao Li Estimation of downsampling influence on accelerometer signal quality	68
Chen Yiming Methods of extract features from image in visual simultaneous localization and mapping	75
Qicheng Guo Implementation principle of monocular ranging.....	78
S.N Petrov, S.A. Shavlovsky, A.O. Rodulevich Comparison of the effectiveness of classification algorithms for detecting signs of DDoS attacks by IoT botnets.....	83
Hao Li Analysis of human gait balance based on plantar pressure sensors	86
Zhao Yi'an Crimp wheel extraction of iris images during iris diagnosis	92
Wei ZiJian, Zeng Peng, Wang Ying BATMAN-ADV an energy-efficient wireless routing protocol for dynamic AD hoc networks	96
I.V. Tsimashkevich, K.A. Poltavtsev Internet of things technology in life and in housing and communal services	100
Yalu Gao Application of blockchain in electronic healthcare record.....	106
He Tao Grad-Cam visualization model for lung disease diagnosis	109

УДК 621.391

ВЗВЕШЕННОЕ СЛОЖЕНИЕ АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ С УЧЕТОМ РАЗМЕРОВ ИХ ОБЛАСТЕЙ

М.Ю. ЛОВЕЦКИЙ^{1,2}, И.И. ЛЕВОНЕНКО², Е.Г. МАКЕЙЧИК², В.Ю. ЦВЕТКОВ²,
В.А. ЛАПИЦКАЯ¹, С.А. ЧИЖИК¹

1 – Институт тепло- и массообмена имени А.В.Лыкова НАН Беларуси, Республика Беларусь
2 – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 20 марта 2024

Аннотация. Рассматривается задача определения значения весового множителя для взвешенного сложения компонентных изображений двух каналов атомного силового микроскопа (АСМ), обеспечивающего повышение качества комбинированного АСМ-изображения, оцениваемого с помощью локальной корреляционной метрики в квадратном окне, размер которого согласован с преобладающими размерами областей на компонентных АСМ-изображениях.

Ключевые слова: атомная силовая микроскопия, оценка качества комбинирования изображений, корреляция изображений, взвешенное сложение изображений.

Введение

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) поверхности материала использует несколько параллельных синхронизированных измерительных каналов для измерения высоты, вязкости и жесткости поверхности. Получаемые в этих каналах значения переносятся в двухмерные матрицы чисел, представляемые многоканальными АСМ-изображениями. Яркости пикселей каждого одноканального АСМ-изображения отражают значения измеряемой физической величины в соответствующих точках поверхности. Для эффективного визуального анализа многоканальных АСМ-изображений можно сформировать одно комбинированное АСМ-изображение на основе взвешенной суммы АСМ-изображений отдельных каналов (компонентных АСМ-изображений), что значительно проще других известных методов, например [1, 2]. В данной работе рассматриваются комбинирование двух АСМ-изображений.

С учетом ограниченного динамического диапазона комбинированного АСМ-изображения для повышения его качества необходимо обеспечить минимальные искажения наиболее значимых деталей компонентных АСМ-изображений при их взвешенном сложении. Для оценки качества АСМ-изображений, отличающихся существенными локальными неоднородностями распределения яркости, представляет интерес метрика на основе локальной корреляции [3], учитывающая вклад каждого из компонентных АСМ-изображений в результирующее комбинированное АСМ-изображение и корреляцию между компонентными АСМ-изображениями. Локальная корреляция, в отличие от других известных метрик качества [4–7], специально ориентирована на АСМ-изображения и обеспечивает более высокую точность оценки качества комбинирования АСМ-изображений по сравнению с глобальной корреляцией, но ее значения существенно зависят от размера окна анализа. В [3] для определения размера окна вычисления локальной корреляционной метрики используется перебор в широком диапазоне возможных размеров деталей компонентных АСМ-изображений, что приводит к крайне низкой скорости обработки.

Целью работы является повышение скорости определения размера окна для вычисления локальной корреляционной метрики, используемой для оценки качества комбинированных АСМ-изображений.

Формирование комбинированных АСМ-изображений

Предполагая независимость эффективности методов объединения изображений и точности показателей качества АСМ-изображений выберем простейший метод взвешенного сложения (рис. 1) для формирования комбинированных АСМ-изображений. Согласно данному методу значения пикселей $m_c(y, x)$ комбинированного АСМ-изображения

$M_c = \left\| m_c(y, x) \right\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ вычисляются на основе значений пикселей АСМ-изображений

$M_1 = \left\| m_1(y, x) \right\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ первого и $M_2 = \left\| m_2(y, x) \right\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ второго измерительных

каналов атомного силового микроскопа с помощью выражения

$$m_c(y, x) = \left[k m_1(y, x) + (1-k) m_2(y, x) \right] \quad (1)$$

при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$,

где k – коэффициент, определяющий вклад значений пикселей каждого компонентного АСМ-изображения M_1 и M_2 в значения пикселей комбинированного АСМ-изображения M_c , $0 < k < 1$; Y, X – размеры (в пикселях) компонентных и комбинированного АСМ-изображений по вертикали и горизонтали; $[]$ – операция округления значений пикселей до ближайшего целого.

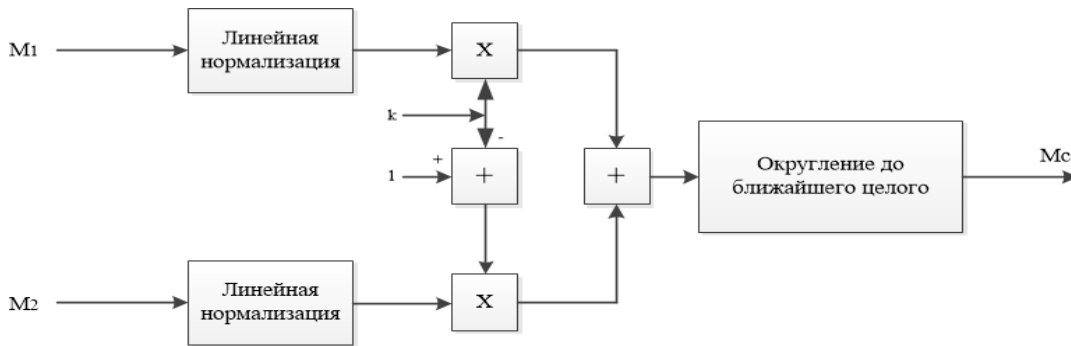


Рис. 1. Схема формирования комбинированного АСМ-изображения на основе взвешенного сложения компонентных АСМ-изображений

Меньшие значения коэффициента k на рис. 1 соответствуют меньшей относительной доли значений компонентного АСМ-изображения M_1 в комбинированном АСМ-изображении M_c по сравнению с компонентным АСМ-изображением M_2 . Выбор значения k , в общем случае требует перебора всех возможных значений для различных размеров p окон локального корреляционного анализа.

Оценка качества комбинирования АСМ-изображений на основе коэффициента локальной корреляции

Повышение точности корреляционной оценки качества комбинирования АСМ-изображений достигается за счет учета локальных особенностей распределений значений пикселей в компонентных и комбинированном АСМ-изображениях. Для этого используется коэффициент $r_L(A, B)$ локальной корреляции двух АСМ-изображений $A = \left\| a(y, x) \right\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$

и $B = \left\| b(y, x) \right\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$, вычисляемый с помощью выражения

$$r_L(A, B, p) = \frac{\sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} |a(y, x) - a_L(y, x, p)| |b(y, x) - b_L(y, x, p)|}{\sqrt{\sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} (a(y, x) - a_L(y, x, p))^2 \sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} (b(y, x) - b_L(y, x, p))^2}}, \quad (2)$$

где $a_L(y, x, p)$, $b_L(y, x, p)$ – средние значения яркостей пикселей изображений A и B в окрестности пикселя с координатами (y, x) размером $p \times p$ пикселей, $a_L(y, x, p) = \frac{1}{p^2} \sum_{j=0}^p \sum_{i=0}^p a(y+j, x+i)$,

$$b_L(y, x, p) = \frac{1}{p^2} \sum_{j=0}^p \sum_{i=0}^p b(y+j, x+i).$$

Для оценки качества комбинирования АСМ-изображений с учетом корреляции между комбинированным АСМ-изображением и каждым из двух компонентных АСМ-изображений, а также между компонентными АСМ-изображениями в [3] предложена локальная корреляционная метрика $D_L(k)$, вычисляемая с помощью выражения (чем больше ее значение, тем лучше)

$$D_L(k) = \frac{r_L(M_C, M_1, k) + r_L(M_C, M_2, k)}{|r_L(M_C, M_1, k) - r_L(M_C, M_2, k)| r_L(M_1, M_2, 0, 5)}. \quad (3)$$

Локальная корреляционная метрика $D_L(k)$ позволяет определить значение k , обеспечивающее лучшее соотношение вкладов компонентных АСМ-изображений в комбинированное АСМ-изображение по сравнению с глобальной корреляционной метрикой.

Быстрое определение размера окна для вычисления локальной корреляционной метрики

Для быстрого определения размера p окна вычисления значения $D_L(p, k)$ локальной корреляционной метрики при оценке качества комбинированных АСМ-изображений предлагается учитывать преобладающие размеры сегментов, выделяемых на компонентных АСМ-изображениях с помощью параллельного выращивания областей локальных экстремумов (Seeded Region Growing) (рис. 2).

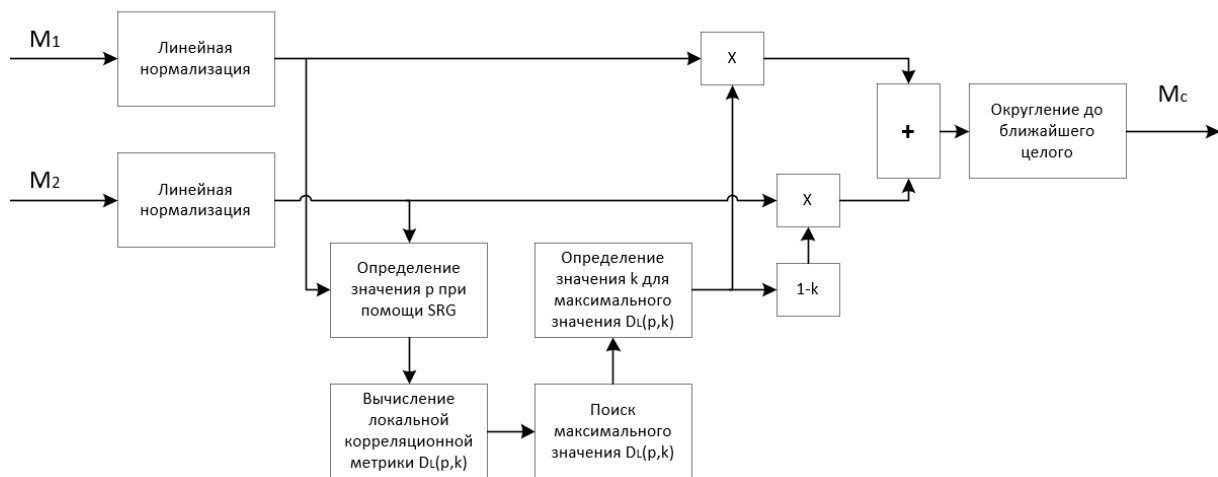


Рис. 2. Схема определения размера окна вычисления локальной корреляционной метрики

В схеме, приведенной на рис. 2, предварительно осуществляются приведение к одному динамическому диапазону и медианная фильтрация компонентных АСМ-изображений с целью устранения шума. После этого формируется список координат положения всех локальных экстремумов на АСМ-изображениях с помощью алгоритма НЗА селективно-сегментного поиска локальных яркостных экстремумов [8]. Сущность алгоритма состоит в сканировании изображения для поиска несегментированных пикселей, использовании их в качестве начальных точек роста, наращивании однородных областей и сравнении значений их граничных пикселей со значениями соответствующих пикселей смежных сегментов: область является локальным максимумом (минимумом), если значения всех ее граничных пикселей больше (меньше) значений всех смежных пикселей или равны им. В этом алгоритме сегментации используется модель параллельного выращивания областей изображения на основе присоединения смежных пикселей $i = (x, y)$ к области n , в которой присоединения пикселей происходят попеременно к

областям максимальных и минимальных экстремумов с использованием списка, состоящего из всех экстремумов изображения. Области выращиваются, пока не присоединят все пиксели изображения. Для присоединения к области смежный пиксель не должен быть занят другим регионом, а также удовлетворять условию:

$$0 \leq n(X, Y) - i(x, y) \leq |d|$$

где $n(X, Y)$ – значения экстремума; d – шаг присоединения, который изменяется от 0 с шагом 1.

Для максимальных экстремумов d отрицательное, а для минимальных – положительное. Изменение d происходит, когда все экстремумы из списка присоединяют все возможные смежные пиксели с этим шагом присоединения. После этого рост начинается заново и продолжается пока $|d|$ меньше максимального значения пикселя в изображении.

На АСМ-изображениях имеются области, которые не могут присоединить ни один смежный регион. Данные области занимают менее 1% от всего количества пикселей, поэтому не оказывают влияния на результат.

После сегментации определяются размеры выделенных областей и формируется гистограмма таких размеров для каждого компонентного АСМ-изображения. Максимумы гистограмм соответствуют наиболее часто встречающимся размерам областей на компонентных АСМ-изображениях. Предполагается, что именно области с наиболее часто встречающимися размерами являются значимыми для последующего визуального анализа и должны с минимальными искажениями отображаться на комбинированном АСМ-изображении.

На рис. 3 и 4 приведены примеры компонентных АСМ-изображений и гистограммы размеров их областей, полученные в результате работы алгоритма SRG, где по оси абсцисс отложен размер области, а по оси ординат – количество областей с таким же размером.

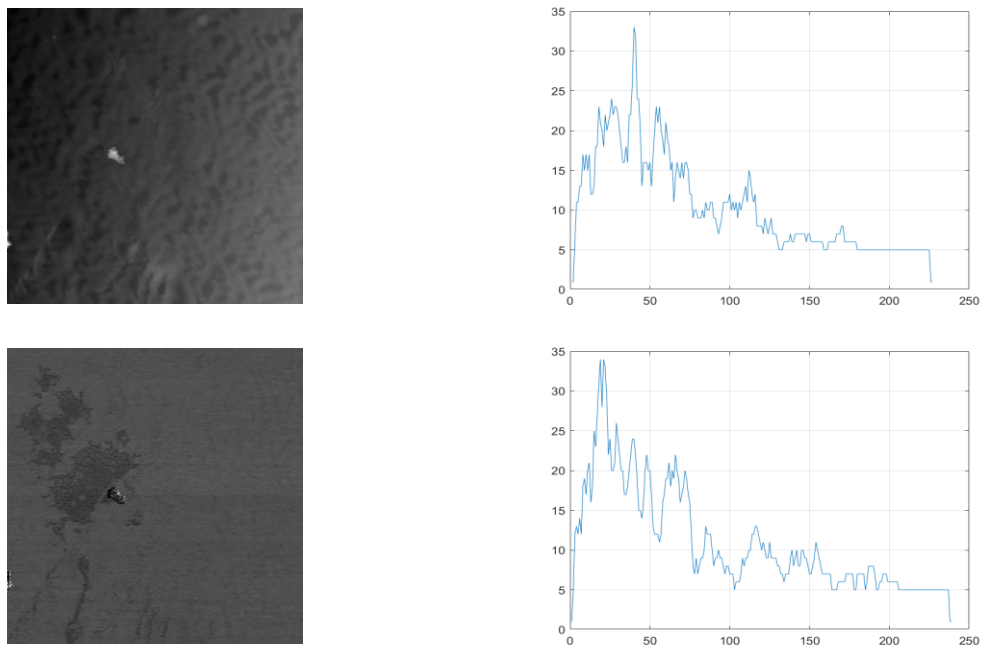


Рис. 3. Компонентные АСМ-изображения АСМ-1 и гистограммы размеров их областей

Максимальные значения гистограмм показывают лучшие размеры окон для вычисления локальной корреляционной метрики. Размер p окна корреляционного анализа определяет размер значимых областей на компонентных АСМ-изображениях, которые должны вносить основной вклад в комбинированное АСМ-изображение M_c . Поскольку значения максимумов на гистограммах, соответствующих компонентным АСМ-изображениям, не совпадают, оба максимальных значения используются для подбора лучшего значения весового множителя k , используемого для взвешенного сложения компонентных АСМ-изображений по схеме, приведенной на рис. 1.

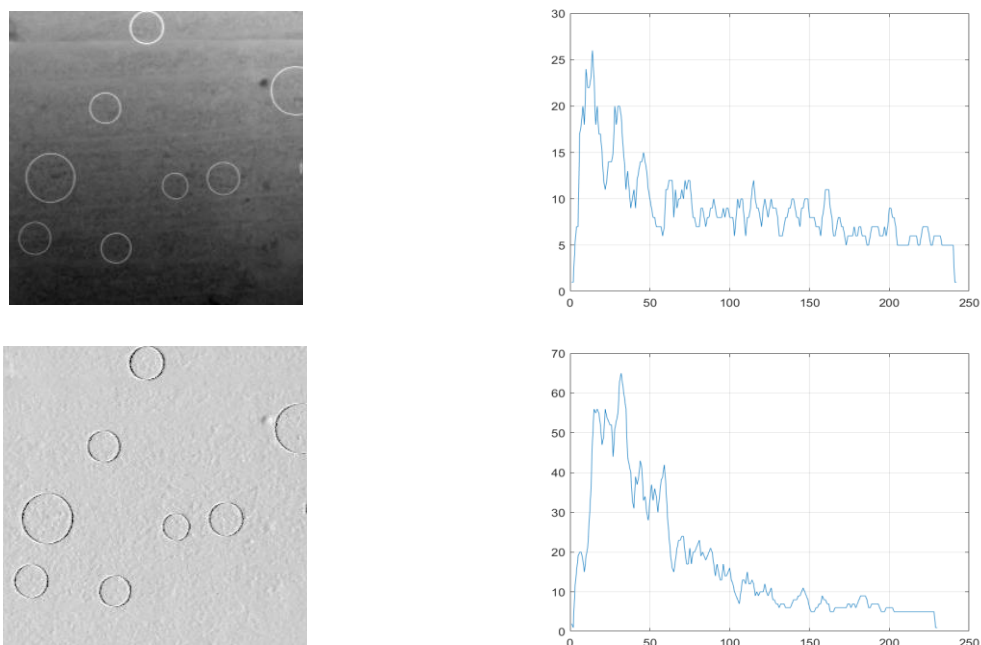


Рис. 4. Компонентные АСМ-изображения АСМ-2 и гистограммы размеров их областей

Поиск наилучшего коэффициента наложения

Полученные выше размеры окон локального корреляционного анализа (два в общем случае) используются для определения значений весового множителя k , соответствующего максимальному значению локальной корреляционной метрика D_L . Для этого выбирается один из размеров окна локального корреляционного анализа, для которого значения k изменяются в пределах $(0,1)$ с заданным шагом (определяется исходя из имеющихся временных ресурсов на обработку АСМ-изображений) и вычисляются значения локальной корреляционной метрика D_L с помощью выражения (3). То же делается для второго размера окна (примеры зависимостей $D_L(k)$ приведены на рис. 5 и 6). Затем ищется максимум зависимостей значений D_L от k , соответствующих двум размерам окон. Соответствующее максимуму значение k используется для взвешенного сложения компонентных АСМ-изображений.

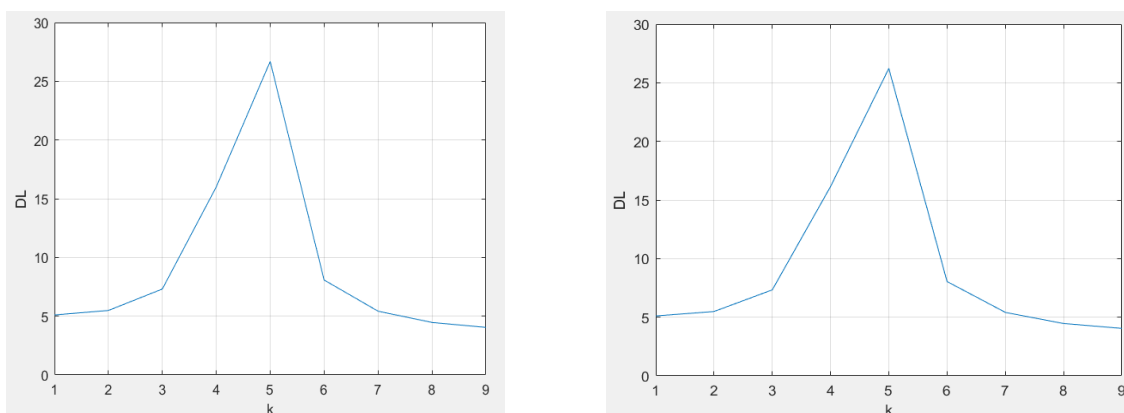


Рис. 5. Зависимости $D_L(k)$ ($k \times 10$) для размеров окон 33 и 34, полученных при обработке компонентных изображений АСМ-1

Из рис. 5 и 6 следует, что зависимости $D_L(k)$ имеют единственный максимум. Значения максимумов для зависимостей $D_L(k)$ двух компонентных АСМ-изображений, полученные для различных размеров окон корреляционного анализа, могут быть близкими, как на рис. 5, или существенно отличаться, как на рис. 6. В случае различных значений выбирается наибольшее. Шаг по k зависит от доступных временных ресурсов на обработку АСМ-изображений.

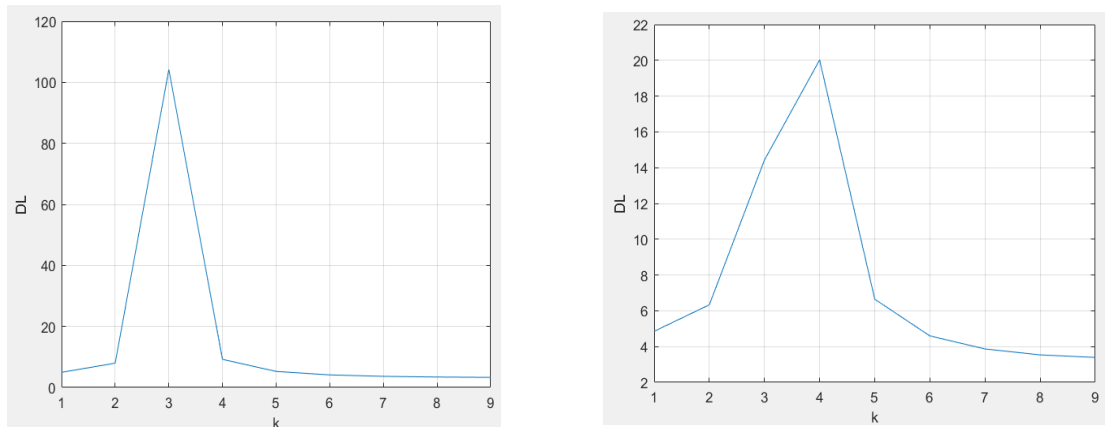


Рис. 6. Зависимости $D_L(k)$ ($k \times 10$) для размеров окон 21 и 47, полученных при обработке компонентных изображений АСМ-9

Заключение

Исследованы зависимости локальной корреляционной метрики, вычисляемой для комбинированных АСМ-изображений, от размера окна корреляционного анализа и весового множителя, используемого для взвешенного сложения компонентных АСМ-изображений. Исходя из гладкой формы зависимостей локальной корреляционной метрики от упомянутых параметров исследована эффективность подхода к ускорению определения размера окна корреляционного анализа с учетом преобладающих размеров областей на компонентных АСМ-изображениях. Установлено, что значения максимумов для данных зависимостей, полученных для различных размеров окон корреляционного анализа, могут быть близкими или существенно отличаться. В случае различных значений рекомендуется выбирать наибольшее из них.

WEIGHTED COMPOSITION OF AFM IMAGES BASED ON LOCAL CORRELATION WITH ACCOUNT THE SIZES OF THEIR AREAS

M.Yu. LAVETSKI, I.I. LIAVONENKA, E.G. MAKEICHIK, V.Yu. TSVIATKOU,
V.A. LAPITSKAYA, S.A. CHIZHIK

Abstract. We consider the problem of determining the value of the weighting factor for the weighted addition of component images of two channels of an atomic force microscope (AFM), which improves the quality of the combined AFM image, assessed using a local correlation metric in a square window, the size of which is consistent with the prevailing sizes of areas in the component AFM images.

Keywords: atomic force microscopy, image combination quality assessment, image correlation, weighted image summation.

Список литературы

1. Jifeng S., Yuanjiao J., Shaoyong Z. // Proceedings of the SPIE International Conference on Space Information Technology. 2008. Vol. S98S. P. 739-744.
2. Zhang A.K., Dare. Y.P. // ISPRS Journal of Photogrammetric and Remote Sensing. 2007. Vol.62, No. 4. P.249-263.
3. Ловецкий М.Ю., Цветков В.Ю., Борискевич А.А., Лапицкая В.А., Чижик С.А. // Доклады БГУИР. – 2023. – Т. 21, № 3. – С. 78-86
4. Petrovic V., Xydeas C. // Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'05). 2005. Vol. 1, P. 1866-1871.
5. Piella G., Heijmans H. // Proceedings International Conference on Image Processing (Cat. No.03CH37429). 2003. P. 111-173.
6. Qu G., Zhang D., Yan P. // Opt. Express. 2001. Vol. 9. P. 184-190.
7. Aslantas V., Bendes E. // AEU – International Journal of Electronics and Communications. 2015. P. 1890-1896.
8. Нгуен А.Т., Цветков В.Ю. // Информатика. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 23–36.

NUMERICAL MODELING OF MULTIBEAM MICROSTRIP ANTENNA ARRAYS FOR TELECOMMUNICATION SYSTEMS USING THE INTEGRAL EQUATION METHOD

V.V. KIZIMENKA, S.A. KARANEUSKI, N.M. NAUMOVICH

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

Received April 8, 2024

Abstract. Process of numerical modeling of the microstrip antenna array farfield with formation of zero in the interference direction is considered. It is shown that it is possible to apply the method of integral equations in thin-wire approximation to provide the required accuracy of the amplitude-phase distribution calculation for effective interference suppression.

Keywords: antenna array, numerical modeling, method of integral equations

Introduction

In today's interconnected world, reliable communication is essential. With the increasing number of users and devices relying on 5G and other telecommunication systems, managing electromagnetic compatibility becomes challenging. Digital antenna arrays and Digital Beamforming (DBF) technologies offer solutions by dynamically adjusting signal direction and filtering interference [1-3]. However, accurately modeling these antenna arrays is crucial for optimizing performance. Fast and efficient numerical modeling methods are very important for developing reliable telecommunication infrastructures that meet modern connectivity demands [4-5]. In this article, we explore how numerical modeling of antenna arrays helps to overcome existing problems in advanced telecommunication systems.

Numerical modeling of multibeam microstrip antenna arrays

When calculating digital antenna arrays to effectively suppress interference signals, it is necessary to use mathematical models of radiators that ensure low calculation errors.

Figure 1 shows the calculated radiation patterns of an adaptive multibeam antenna obtained by the geometric optics method.

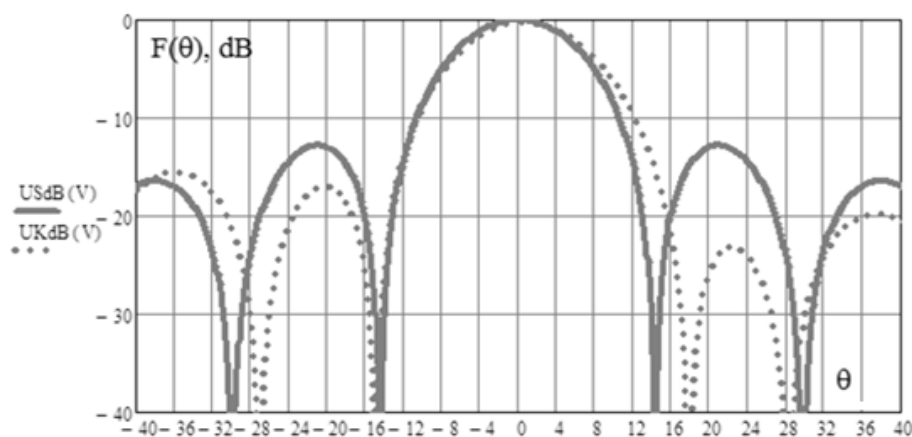


Figure 1. The original radiation pattern of the antenna array and the pattern when forming a zero in the direction of interference

The solid line ($USdB$) shows the antenna pattern in the absence of interference. Dots ($UKdB$) - adaptive antenna pattern in the presence of interference from directions $Vp1 = -27^\circ$ and $Vp2 = 17$ degrees.

From Figure 1 it can be seen that the adaptive antenna pattern in the direction of the received signal ($Vc = 0^\circ$) has remained virtually unchanged. In the presence of interference, the adaptive antenna array formed pattern nulls in the directions of interference. Analysis of the results obtained showed that in order to effectively attenuate interference signals, the error in determining the direction to interference sources should not exceed 1-2 degrees. If the error in determining the direction to the interference is 2 degrees ($Vp1 = -29^\circ$, $Vp2 = 16^\circ$), the suppression of interference signals decreases ($UKdB(-28^\circ) = -24$ dB; $UKdB(15^\circ) = -16$ dB).

Figure 2 shows the results of modeling an antenna array farfield taking into account the failure of one emitter. The solid line ($USdB$) shows the original antenna pattern in the absence of interference, the dots ($UKN1dB$) show the adaptive antenna pattern if present, and the dotted line ($UKKdB$) shows the pattern when one radiator fails.

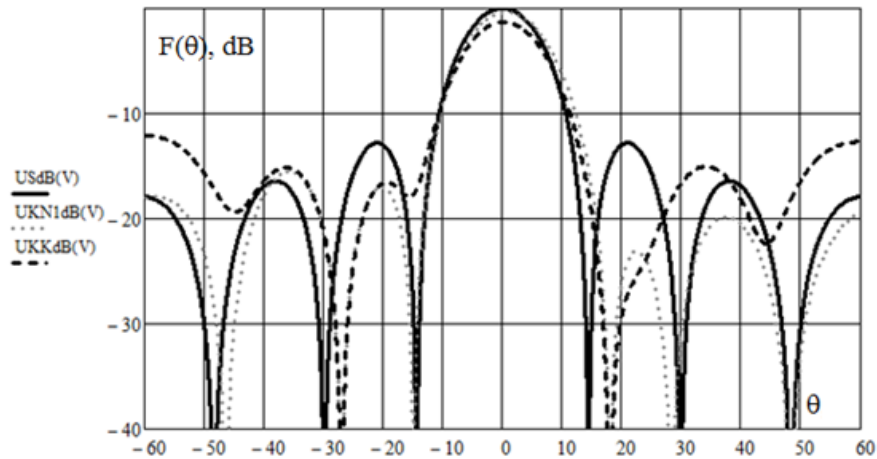


Figure 2. Antenna array farfield when a zero is formed in the direction of interference and one emitter fails

From Figure 2 it can be seen that to ensure effective interference suppression at the output of a multibeam antenna, it is necessary to ensure high accuracy in determining the angular coordinates of interference signals. The use of the geometric optics method does not consider a number of factors affecting the measurement error. To accurately calculate the radiation pattern, one of the well-known electrodynamic modeling packages (CST Studio Suite, NI AWR MWO) can be used. However, these packages require significant hardware and time resources for calculation. To reduce the simulation time and the required amount of RAM, the method described earlier in [6-8] can be used, in which the plates of microstrip emitters are replaced by a system of thin conductors. Additional acceleration of the modeling process can be achieved using CUDA technology.

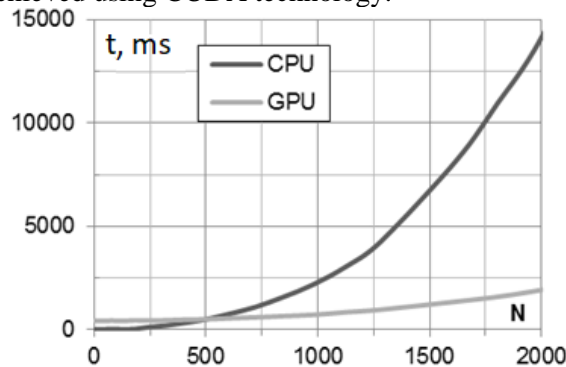


Figure 3. Dependence of the time for calculating the current distribution on the elements of the antenna array on the number N of segments

From Figure 3 it is clear that with small sizes of the problems being solved (the number of segments N is less than 500), the central processor solves the problem faster and it is not advisable to use a graphics processor. As the problem size increases, the GPU begins to outperform the CPU. The

GPU solved the system, compiled for 5120 segments (32×32 vibrator array) 11,03 times faster than the CPU.

Conclusion

The process of modeling the radiation pattern of an antenna array with the formation of a zero in the direction of interference is considered. It is shown that for effective interference suppression, high accuracy is required in the formation of the amplitude-phase distribution. To reduce modeling time, the method of integral equations in the fine-wire approximation and transfer of calculations to a GPU accelerator can be used.

References

1. Hussain S, Qu SW, Sharif AB, Abubakar HS, Wang XH, Imran MA, Abbasi QH. Current Sheet Antenna Array and 5G: Challenges, Recent Trends, Developments, and Future Directions. *Sensors* (Basel). 2022 Apr 26;22(9). P. 332.
2. Megahed, A.A., Abdelhay, E.H., Abdelazim, M. et al. 5G millimeter wave wideband MIMO antenna arrays with high isolation. *J Wireless Com Network* 2023, 61 (2023).
3. Ur Rahman, Saeed & Cao, Qunsheng & Hussain, Ishfaq & Khalil, Hisham & Zeeshan, Muhammad & Nazar, Waseem. (2017). Design of Rectangular Patch Antenna Array for 5G Wireless Communication. 10.1109/PIERS.2017.8261995.
4. Qiao J., Shen X., Mark J., Shen Q., He Y., Lei L. Enabling Device-to-Device Communications in Millimeter-Wave 5G Cellular Networks. *IEEE Commun. Mag.* 2015;53. P. 209–215
5. Wang C.X., Haider F., Gao X., You X.H., Yang Y., Yuan D., Aggoune H.M., Haas H., Fletcher S., Hepsaydir E. Cellular Architecture and Key Technologies for 5G Wireless Communication Networks. *IEEE Commun. Mag.* 2014;52. P. 122–130.
6. Kizimenko V., Ulanouski A. Using integral equation method for fine-wire objects to calculate characteristics of microstrip antenna arrays // *Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals*, 17-21 September, 2012, Sevastopol, Ukraine. P. 207-209.
7. Kizimenko V.V., Ulanouski A.V. Mathematical model of the microstrip radiator based on thin-wire approximation of metal patch // *Proceedings of X anniversary international conference on antenna theory and techniques ICATT'2015 Dedicated to 95 year jubilee of Prof. Yakov S. Shifrin*, April 21 – 24, 2015 Kharkiv, Ukraine. P. 114-116.
8. Kizimenko V., Ulanovski A. Comparative Analysis of the Various Resonator Models in the Input Impedance Calculation of the Microstrip Antennas // *39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, June 27-29, 2016. Vienna, Austria. P. 187-189

УДК 303.732.4, 004.932.2

ДВУХСЕНСОРНАЯ ПОСАДОЧНАЯ СИСТЕМА ТЯЖЕЛОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА

И. ЧЭНЬ¹, Ц. ГО¹, Ц. МА¹, С.Х. ЖЭНЬ¹, С.В. ЛИТВИНОВ², М.И. ЗОРЬКО¹, В.Ю. ЦВЕТКОВ¹

1 – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь;
2 – ООО «ЮВР», Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05 марта 2024

Аннотация. Рассматривается задача обеспечения посадки тяжелого БЛА вертолетного типа при отсутствии сигналов навигационной системы и управления. Разработана структура двухсенсорной посадочной системы тяжелого БЛА вертолетного типа, позволяющая повысить точность определения координат точки приземления за счет использования поворотного видеосенсора и дополнительного фиксированного видеосенсора, установленного в надир. Поворотный видеосенсор используется на малых высотах полета БЛА для захвата реперов в дальней окрестности посадочной площадки и на уровне горизонта, когда снижается качество изображений фиксированного видеосенсора из-за перемещения объектов под действием воздушных потоков от винтов БЛА. Фиксированный видеосенсор используется на больших и средних высотах полета БЛА для поиска потенциальных мест посадки, составления базы дескрипторов траектории полета и захвата реперов в пределах и ближайшей окрестности посадочной площадки.

Ключевые слова: БЛА вертолетного типа, посадочная система.

Введение

В связи с развитием производства тяжелых БЛА актуальна задача обеспечения безопасности полетов, включающая аварийную посадку БЛА при пропадании сигналов навигационной системы и управления [1–6]. В такой ситуации БЛА должен выбрать пригодную для приземления площадку и совершить посадку, используя данные, формируемые бортовой видеосистемой, инерциальной системой, компасом и высотомером.

Цель работы: повышение точности определения координат точки приземления тяжелого БЛА вертолетного типа при отсутствии сигналов навигационной системы и управления.

Постановка задачи

Для разработки прототипа посадочной системы (ПС) использованы тактико-технические характеристики БЛА вертолетного типа «САКАВИК» (рис. 1) [7]:

- количество двигателей: 1;
- тип двигателя: внутреннего сгорания (115 л/с);
- максимальная взлётная масса: 500 кг;
- максимальная грузоподъёмность (включая топливо): 200 кг;
- максимальный вес целевой нагрузки: 150 кг;
- радиус применения: 240 км;
- максимальное время полета: 8 ч (бак 150 л);
- максимальное время полета с целевой нагрузкой 50 кг: 3 ч (бак 40 л);
- диапазон скоростей: 0–185 км/ч;
- крейсерская скорость: 120 км/ч;
- скорость ветра при взлете (в полете): 10 (20) м/с;
- диаметр несущего винта: 6,28 м.



Рис. 1. БЛА вертолетного типа «САКАВИК»

БЛА «САКАВИК» имеет следующий функционал [7]:

- вертикальный взлет и посадка;
- полет по маршрутным точкам в полностью автоматическом режиме;
- в случае потери сигнала связи функция возвращения в точку взлёта, продолжения полёта по маршруту или выбор иного сценария;
- перевозка грузов в грузовом отсеке и на внешней подвеске, в частности с автоматическим отцеплением груза без совершения посадки;
- эксплуатация в тёмное время суток;
- эксплуатация при осадках (дождь, снег);
- эксплуатация в условиях низкой видимости (туман, метель).

С учетом тактико-технических и функциональных характеристик БЛА «САКАВИК» определены основные условия функционирования ПС, влияющие на точность определения координат точки посадки тяжелого БЛА вертолетного типа и ограничивающие выбор методов обработки видеоданных:

- 1) естественные условия формирования изображений, для которых характерны изменения яркости объектов (в том числе из-за поворота видеокамеры);
- 2) изменение масштаба объектов при снижении БЛА;
- 3) возможность наличия подвижных объектов в зоне посадки;
- 4) необходимость использования для посадки ровной, стабильной поверхности значительной площади;
- 5) ухудшение качества изображения посадочной площадки при снижении (из-за множественного перемещения объектов на поверхности, вызываемого движением воздуха из-под вращающихся винтов БЛА);
- 6) необходимость наличия в зоне посадки и окрестности ландшафтных и инфраструктурных неоднородностей, которые могли бы использоваться в качестве реперов;
- 7) быстрое накопление ошибки определения координат в инерциальной системе;
- 8) предварительное определение потенциальной посадочной площадки в процессе полета БЛА и возможность возврата к данному месту без сигналов навигационной системы;
- 9) отсутствие сигналов навигационной системы;
- 10) наличие бортового компаса БЛА и достаточно точное фиксирование положения строительной оси БЛА относительно сторон света;
- 11) функционирование гироскопов и акселерометров инерциальной системы БЛА;
- 12) функционирование высотомера БЛА;
- 13) достаточно точное фиксирование углов ориентации видеосенсоров относительно строительной оси БЛА;
- 14) необходимость согласования типа видеосенсора с временем суток;
- 15) возможность перехвата управления поворотным видеосенсором БЛА для его использования в качестве источника видеоданных для посадки.

Структура посадочной системы

Исходя из рассмотренных в предыдущем разделе условий предлагается структура ПС, обеспечивающая повышение точности определения координат точки посадки тяжелого БЛА вертолетного типа при отсутствии сигналов навигационной системы за счет использования для

захвата реперов бортовой видеосистемы БЛА на основе поворотного видеосенсора на средних и малых высотах и дополнительного фиксированного видеосенсора, установленного в надир, на больших и средних высотах.

Предлагаемая структура ПС включает (рис. 2): фиксированный видеосенсор с ориентацией в надир стандартного или высокого разрешения с широкими углами обзора; поворотный видеосенсор высокого или сверхвысокого разрешения с узкими (или изменяемыми) углами обзора; блоки обработки данных видеосенсоров – по одному на каждый видеосенсор; блок определения положения БЛА относительно выбранной точки посадки (ТП), на которую непосредственно должен приземлиться БЛА.



Рис. 2. Структура посадочной системы

Фиксированный видеосенсор формирует изображения посадочной площадки и ее ближайшей окрестности на достаточно больших высотах положения БЛА для поиска реперов и точного определения координат БЛА относительно ТП. Он перестает использоваться на малых высотах из-за ухудшения качества изображения, вызванного движением объектов под действием воздушных потоков из-под вращающихся винтов БЛА. Фиксированный видеосенсор используется также системой поиска мест посадки, которая ищет однородные фрагменты изображений, оценивает их размеры и угловую ориентацию для выбора соответствующих участков поверхности в качестве потенциальных мест посадки БЛА. Эти участки связываются с траекторией полета БЛА, для описания которой кроме географических координат используются также дескрипторы реперов, определяемых на изображениях от фиксированного видеосенсора вдоль траектории полета БЛА. Система поиска мест посадки может также выбирать ТП, связывая ее с географическими координатами и пиксельными координатами на изображении посадочной площадки, формируемом фиксированным видеосенсором. При отсутствии навигационных сигналов информация о ближайших потенциальных местах посадки БЛА передается по запросу в систему выбора места посадки. Для возврата к месту посадки используются реперы вдоль траектории полета БЛА, дескрипторы которых постоянно накапливаются.

Поворотный видеосенсор формирует изображения окрестности посадочной площадки и горизонта на средних и особенно на малых высотах положения БЛА для поиска реперов и точного определения координат БЛА относительно ТП. На больших и средних высотах или в случае отсутствия неоднородностей на (или в непосредственной близости от) посадочной площадке поворотный видеосенсор используется параллельно с фиксированным видеосенсором для повышения надежности.

Блок обработки данных видеосенсоров (фиксированного и поворотного) осуществляет поиск реперов на изображениях и устанавливает соответствие между реперами различных видеокадров для последующего определения соответствующего перемещения и изменения угловой ориентации БЛА. В режиме автопосадки этот блок перехватывает управление поворотным видеосенсором и может наводить его в окрестность посадочной площадки на больших и средних высотах БЛА, на горизонт на малых высотах БЛА.

Блок определения положения БЛА фиксирует ТП по команде автопилота (предполагается, что системы поиска мест посадки, фиксирования мест посадки и возврата к месту посадки

отработали и выдали автопилоту пиксельные координаты ТП на изображении, формируемом фиксированным видеосенсором); определяет относительные координаты ТП в системе реперов изображения фиксированного видеосенсора и системе координат БЛА, используя данные компаса, высотомера, инерциальной системы, полученные на основе показаний акселерометров и гироскопов; формирует виртуальную посадочную плоскость с центром координат в ТП; определяет текущее положение и угловую ориентацию в системе реперов текущего изображения от фиксированного или (и) поворотного видеосенсора; вычисляет перемещение и изменение угловой ориентации фиксированного и поворотного видеосенсоров в трехмерном пространстве относительно ТП (с учетом изменения угловой ориентации поворотного видеосенсора по данным системы контроля этого видеосенсора); вычисляет смещение проекции текущего положения БЛА на виртуальной посадочной плоскости от ее центра, связанного с ТП; передает значения смещения проекции текущего положения БЛА от центра виртуальной посадочной плоскости в автопилот. ТП может быть привязана или не привязана к реперам на изображении от фиксированного видеосенсора.

Внешними по отношению к посадочной системе являются (см. рис. 2):

- автопилот (запускает и останавливает работу посадочной системы, задает ТП, получает от посадочной системы значения смещений проекции текущего положения БЛА от центра виртуальной посадочной плоскости; получает данные компаса, высотомера и инерциальной системы, выбирает посадочную площадку, обеспечивает возврат БЛА к ближайшей посадочной площадке при пропадании сигналов навигационной системы, управляет снижением БЛА при посадке, корректирует положение БЛА в трехмерном пространстве для выхода в ТП);

- инерциальная система (определяет перемещение и изменение угловой ориентации БЛА в трехмерном пространстве на основе показаний гироскопов и акселерометров);

- канал связи и управления (транслирует видеоизображения от фиксированного и (или) поворотного видеосенсоров в центр управления, транслирует команды управления в автопилот, транслирует команды управления подвижным видеосенсором для управления им при наличии сигналов навигационной системы);

- видеорегистратор (записывает видеоизображения от фиксированного и (или) поворотного видеосенсоров);

- система поиска мест площадки (осуществляет поиск горизонтальных однородных поверхностей с площадью, соответствующей размерам БЛА, отсутствием подвижных объектов и наличием достаточного количества реперов);

- система возврата к месту посадки (постоянно находит реперы по трассе полета с использованием фиксированного видеосенсора, формирует и сохраняет их дескрипторы, использует информацию о сохраненных реперах для возврата к местам посадки).

При отсутствии на БЛА фиксированного видеосенсора его роль выполняет поворотный видеосенсор.

Модель определения положения БЛА

Основным элементом ПС является блок определения положения БЛА. Его основные функции представляются следующей математической моделью.

Трехмерная точка P_w в пространстве обозначается как $P_w = [x_w, y_w, z_w]^T$, а ее пиксельные координаты в пиксельной плоскости обозначаются как $P_i = [u_i, v_i]^T$. Взаимосвязь между точкой P_w и ее проекцией P_i в пиксельной плоскости определяется с помощью выражения

$$z_w \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = KP_w, \quad (1)$$

где K – внутренняя матрица камеры; f_x, f_y – фокусные расстояния, выраженные в пикселях; c_x, c_y – параметры, учитывающие возможное несовпадение главной точки с центром изображения.

Предположим, дана пара совпадающих характерных точек на двух изображениях (рис. 3).

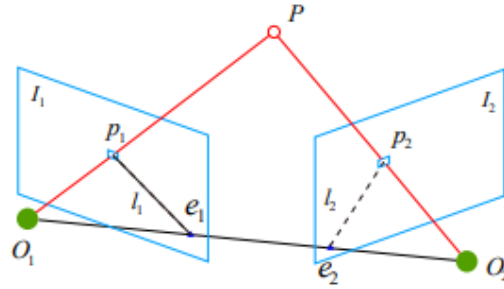


Рис. 3. Проекция точки на двух видеокадрах

Перемещение между первым и вторым кадрами составляет R, t . Центрам камер соответствуют точки O_1, O_2 . В этом случае существует особая точка p_1 в I_1 , которой соответствует характерная точка p_2 в I_2 , полученная путем сопоставления признаков. Позиции пикселей p_1 и p_2 описываются с помощью выражений $z_1 p_1 = KP$, $z_2 p_2 = K(RP + t)$. Пусть $m_1 = K^{-1} p_1$, $m_2 = K^{-1} p_2$. Тогда $z_2 m_2 = z_1 R m_1 + t$. После приведения получаем выражения $z_2 m_2 \times m_2 = 0$, $z_1 R m_1 \times m_2 + t \times m_2 = 0$. В результате решения этих уравнений можно получить значения m_1 и m_2 .

Заключение

Предложена структура двухсенсорной посадочной системы тяжелого БЛА вертолетного типа, обеспечивающая посадку при отсутствии сигналов навигационной системы и позволяющая повысить точность определения координат точки посадки за счет использования поворотного и дополнительного фиксированного видеосенсора, установленного в надир. Фиксированный видеосенсор используется на больших и средних высотах полета БЛА для поиска потенциальных мест посадки, составления базы дескрипторов траектории полета и захвата реперы в пределах и ближайшей окрестности посадочной площадки. На малых высотах полета БЛА при ухудшении качества изображений, формируемых фиксированным видеосенсором, из-за движения объектов, вызванного работой винтов БЛА, для захвата реперов используется поворотный видеосенсор, направляемый в дальнюю окрестность посадочной площадки или на линию горизонта.

DUAL-SENSORY LANDING SYSTEM FOR HEAVY HELICOPTER-TYPE UNMANNED AIRCRAFT

Y.M. CHEN, Z. GO, J. MA, X.H. REN, S.V. LITVINOV, M.I. ZORKO, V.YU. TSVIATKOU

Abstract. The problem of ensuring the landing of a heavy helicopter-type UAV in the absence of navigation system signals is considered. The structure of a dual-sensor landing system for a heavy helicopter-type UAV has been developed, which makes it possible to increase the accuracy of determining the coordinates of the landing point through the use of a rotary video sensor and an additional fixed video sensor installed at nadir. A rotating video sensor is used at low UAV flight altitudes to capture benchmarks in the distant vicinity of the landing site and at horizon level, when the quality of the fixed video sensor images decreases due to the movement of objects under the influence of air currents from the UAV propellers. A fixed video sensor is used at high and medium altitudes of UAV flight to search for potential landing sites, compile a database of flight path descriptors and capture benchmarks within and in the immediate vicinity of the landing site.

Keywords: Helicopter-type UAV, landing system.

Список литературы

1. Xin, L.; Tang, Z.; Gai, W.; Liu, H. // *Aerospace* 2022, 9, 634.
2. Gautam, A.; Sujit, P.B.; Saripalli, S. // *Proceedings of the 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Orlando, FL, USA, 27–30 May 2014; pp. 1210–1218.
3. Kong, W.; Zhou, D.; Zhang, D.; Zhang, J. // *Proceedings of the 2014 International Conference on Multisensor Fusion and Information Integration for Intelligent Systems (MFI)*, Beijing, China, 28–29 September 2014; pp. 1–8.
4. Yang, Z.; Li, C. // *Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Frontiers of Sensors Technologies (ICFST)*, Shenzhen, China, 14–16 April 2017; pp. 453–457.
5. Yuan, H.; Xiao, C.; Xiu, S.; Zhan, W.; Ye, Z.; Zhang, F.; Zhou, C.; Wen, Y.; Li, Q. // *Electronics* 2018, 7, 68.
6. Nguyen, P.H.; Kim, K.W.; Lee, Y.W.; Park, K.R. // *Sensors* 2017, 17, 1987.
7. <https://uvr.aero/ru/what-we-do-ru/sakavik-ru/>.

ПРОПУСКАНИЕ КОАКСИАЛЬНОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Д.В. ПОНКРАТОВ¹, А.В. ШИЛОВ¹, А.Б. СОТСКИЙ¹, М.М. НАЗАРОВ²*1 – Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова г. Могилев, Республика Беларусь,**2 – Курчатовский институт, г. Москва, Российская Федерация**Поступила в редакцию 18 февраля 2024*

Аннотация. С позиций создания эффективных линий передачи терагерцовых сигналов исследованы модовые характеристики коаксиальных диэлектрических волноводов. Сопоставлены спектры затухания рабочих мод стандартного трубчатого и коаксиального волноводов. Установлены условия, при которых коаксиальный диэлектрический волновод обеспечивает более высокое пропускание передаваемого сигнала.

Ключевые слова: коаксиальный диэлектрический волновод, терагерцовое излучение, метод функций Грина.

Введение

Технологии передачи терагерцовых (ТГц) сигналов представляют интерес в связи с интенсивной разработкой 6G информационных систем. Основная проблема при их создании – значительное поглощение ТГц излучения всеми известными средами, за исключением сухого воздуха. В настоящей работе рассматриваются коаксиальные волноводы, в которых волноведущая сердцевина и трубчатая оболочка выполнены из полимера. Рабочий диапазон частот такого волновода находится вблизи частоты отсечки моды сердцевины. Это позволяет снизить затухание передаваемого ТГц излучения до уровня материальных потерь в среде, заполняющей волновод (например, в сухом воздухе).

Конфигурация волновода и схема измерений

На рис. 1,а представлена конфигурация рассматриваемого волновода, в которой диэлектрический стержень диаметра d концентрически вставлен в диэлектрическую трубку с внутренним диаметром D и толщиной стенки w . Диэлектрические элементы окружены сухим воздухом с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_a = 1$.

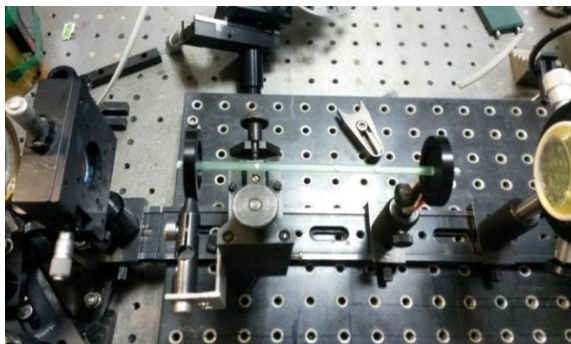
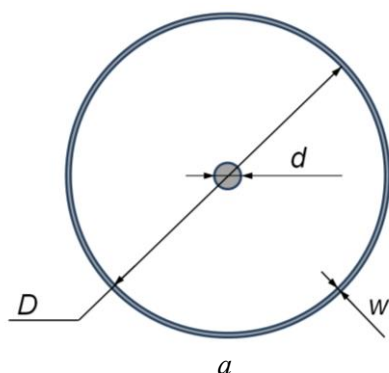


Рис. 1. Конфигурация коаксиального волновода (а) с характерными параметрами, и его экспериментальный образец, закрепленный в измерительной установке (б)

В настоящей работе исследованы измеренные спектры пропускания экспериментальных

образцов в виде коаксиального диэлектрического волновода длиной $L = 25$ см и параметрами $D = 6000$ μm , $w = 200$ μm и $d = 500$ μm , а также в виде полого трубчатого волновода диаметром $D = 6000$ μm и толщиной стенки $w = 200$ μm . В качестве материала волноводов выбран полипропилен с комплексной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,246 - i0,0036$. Центрирование стержня относительно трубки в коаксиальном волноводе обеспечивалось пятью микроструктурными полипропиленовыми шайбами толщиной $l = 2,4$ мм с центральным отверстием для стержня. Возбуждение волноводов осуществлялось пикосекундными импульсами с частотой повторения 80 МГц. Пространственного согласование входного и выходного импульсов с фотоантеннами достигалось при помощи линз (см. рис. 1,б). Зависимость электромагнитного поля от времени выбрана в виде $e^{i2\pi ft}$.

Анализ полученных результатов

Для интерпретации экспериментальных результатов спектры пропускания рассматриваемых волноводов на рис. 2 сопоставлены с рассчитанными частотными зависимостями коэффициентов затухания мод волноводов, принимающих участие в их формировании. Расчет модовых и дисперсионных характеристик коаксиального и трубчатого волноводов был выполнен строгим методом функций Грина [1]. Штриховыми линиями на рис. 2 отмечен уровень модовых потерь, при котором модуль амплитуды моды после прохождения волновода длиной $L = 25$ см уменьшается вдвое. Качественно можно считать, что вклад некоторой моды в спектр выходного импульса является существенным лишь в том случае, когда ее коэффициент затухания, выраженный в dB/m, находится ниже данной линии.

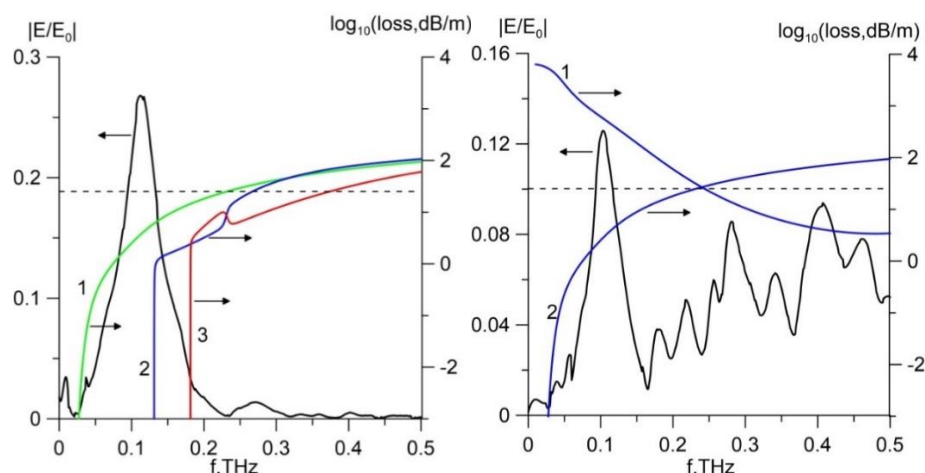


Рис. 2. Сопоставление спектров пропускания коаксиального (а) и трубчатого (б) волноводов с частотными зависимостями затухания рабочих мод данных волноводов

Сравнивая экспериментальные спектры пропускания (черные кривые на рис. 2,а и 2,б), можно заметить, что коаксиальный волновод обеспечивает гораздо лучшее пропускание низких частот по сравнению с трубчатым волноводом. Цветными кривыми 1 – 3 на рис. 2,а представлены спектры затухания трех собственных мод коаксиального волновода, имеющих минимальное затухание. Теоретическое исследование полей этих мод по методу функций Грина [1] показало, что к основной моде коаксиального волновода относится кривая 3, а кривые 1 и 2 соответствуют модам волновода, локализованным в окрестности стенки трубки. Типичное распределение интенсивности последних мод приведено на рис. 3 (конкретно рис. 3 относится к кривой 1 на рис. 2,а и частоте $f = 0,1$ ТГц).

Анализ рис. 2,а и применение к выходному сигналу волновода преобразования Фурье-Габора с гауссовым окном по технике, описанной в [2], позволяет заключить, что спектр пропускания коаксиального волновода в диапазоне частот 0,05 – 0,25 ТГц определяется в основном модами, локализованными в окрестности стенки трубки, на характеристики которых заметно влияет окружение волновода. Слабый вклад основной моды коаксиального волновода в

спектр его пропускания можно объяснить не оптимальными условиями ее возбуждения в эксперименте и дифракцией данной моды на фиксирующих центральный стержень шайбах.

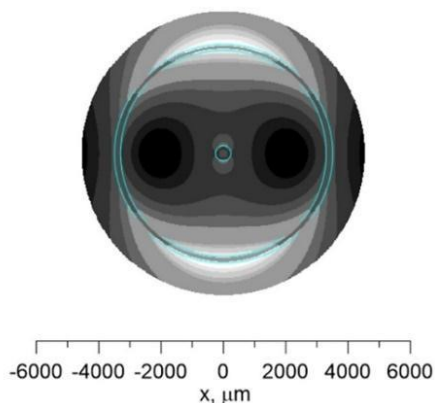


Рис. 3. Оптическая плотность собственной моды коаксиального волновода, локализованной в окрестности стенки трубки

Кривые 1 и 2 на рис. 2,б соответствуют двум модам трубчатого волновода с минимальным затуханием. Кривая 1 соответствует хорошо известной основной вытекающей моде, которая формирует высокочастотный спектр пропускания трубчатого волновода. Кривая 2, определяющая низкочастотный спектр пропускания данного волновода, относится к его собственной моде, локализованной в окрестности его периметра. Она имеет свойства, аналогичные свойствам подобных мод коаксиального волновода (кривая 1 рис. 2,а).

Заключение

Проведен анализ экспериментальных спектров пропускания коаксиального диэлектрического и полого трубчатого волноводов. Показано, что коаксиальный волновод обеспечивает лучшее пропускание излучения низкочастотного ТГц спектра, при оптимальных условиях возбуждения мод, оптические поля которых локализованы около диэлектрической сердцевины.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований РБ «1.15 Фотоника и электроника для инноваций» и аспирантского гранта МО Республики Беларусь с темой «Расчет микроструктурных оптических волокон с тонкопленочными покрытиями».

TRANSMISSION OF A COAXIAL DIELECTRIC WAVEGUIDE

D.V. PONKRATOV, A.V. SHILOV, A.B. SOTSKY, M.M. NAZAROV

Abstract. From the standpoint of creating efficient transmission lines for terahertz signals, the mode characteristics of coaxial dielectric waveguides have been studied. The attenuation spectra of the operating modes of standard tubular and coaxial waveguides are compared. Conditions have been established under which a coaxial dielectric waveguide provides higher transmission of the transmitted signal.

Keywords: coaxial dielectric waveguide, terahertz radiation, Green's function method

Список литературы

1. Сотский А.Б. Теория оптических волноводных элементов. Могилев: УО «МГУ им. А.А. Кулешова», 2011.
2. Nazarov M.M., Mukina L.S., Shuvaev A.V., Sapozhnikov D.A., Shkurinov A.P., Trofimov V.A. // Laser Phys. Lett. 2005. Vol. 2, No. 10. P. 471–475.

УДК 004.021

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ПОШАГОВОГО АНАЛИЗА АЛГОРИТМОВ ПОИСКА И СОРТИРОВКИ ДАННЫХ

Е.В. ДОВГУЛЕВИЧ, В.С. ШУКА, О.Г. ШЕВЧУК

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 18 марта 2024

Аннотация. Разработано программное средство пошагового анализа алгоритмов поиска и сортировки данных. Описаны основные возможности и принцип работы программного средства. Приведено описание используемых алгоритмов поиска и сортировки. Рассмотрены методы оценки вычислительной сложности алгоритмов.

Ключевые слова: алгоритмы поиска, алгоритмы сортировки, вычислительная сложность алгоритмов.

Введение

При разработке различных программных средств инфокоммуникаций (ПСИ) фундаментальное значение имеет выбор и обоснование алгоритмов обработки и структур данных. Существует различные типы алгоритмов обработки данных: поиска и сортировки, динамического программирования, математические, побитовые, поиска шаблонов, жадные алгоритмы, алгоритмы машинного обучения и т.д, которые могут быть использованы при реализации эффективных решений различных проблем.

Сортировка и поиск являются основными этапами обработки данных в инфокоммуникационных системах. Выбор подходящих алгоритмов поиска и сортировки данных позволяет в процессе разработки ПСИ наиболее эффективно распределить имеющиеся физические и виртуальные ресурсы (внутренняя память, тактовая частота и разрядность процессора, и др.). Для оценки алгоритмов поиска и сортировки используются временная и пространственная сложность, однако для лучшего их понимания и изучения также необходимо использовать визуальное представление работы алгоритмов, что позволит быстро и наглядно оценить не только сложность, но и более досконально понять основные принципы их работы.

Цель работы – разработка программного средства пошагового анализа основных алгоритмов поиска и сортировки данных.

Алгоритмы поиска и сортировки данных

Основными классами алгоритмов, представляющих собой фундаментальные подходы к решению задач поиска и сортировки, являются:

1. Линейный поиск [1]. Является одним из самых простых и понятных алгоритмов поиска. Работает путем последовательного изучения каждого элемента в коллекции данных (массива или списка) до тех пор, пока не будет найдено совпадение или пока не будет пройдена вся коллекция.
2. Бинарный поиск [1]. Используется в отсортированном массиве путем многократного деления интервала поиска пополам.
3. Хеширование [1]. Алгоритмы хеширования преобразуют входные данные в уникальные значения, обеспечивая быстрый доступ к ним.
4. Сортировка пузырьком [2]. Метод сортировки массивов и списков путем последовательного сравнения соседних элементов и их обмена, если предшествующий оказывается больше последующего (при сортировке по возрастанию), как показано на рис. 1, а.

5. Сортировка слиянием [3]. Рекурсивный алгоритм, при котором сортируемые элементы разбиваются на две группы, каждая из этих меньших групп сортируется рекурсивно, после чего оба отсортированных списка сливаются воедино и их элементы чередуются, образуя полностью отсортированный общий список. Принцип работы алгоритма приведен на рис. 1, б.

6. Быстрая сортировка [4]. Выбирает элемент в качестве опорного элемента и разбивает заданный массив вокруг выбранного опорного элемента, помещая опорный элемент в правильное положение в отсортированном массиве, что показано на рис. 1, в.

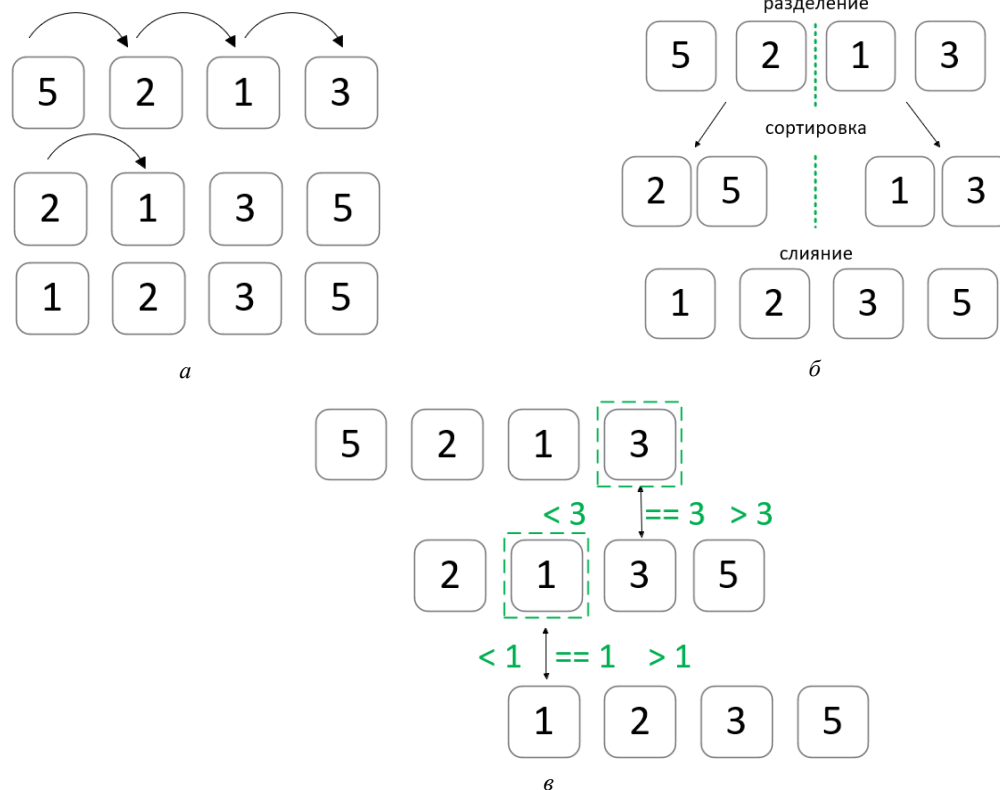


Рис. 1. Принцип сортировки элементов в порядке возрастания следующими алгоритмами: а – пузырьковая сортировка, б – сортировка слиянием, в – быстрая сортировка (опорным элементом выбран последний элемент массива)

Оценка сложности алгоритмов поиска и сортировки данных

Выбор подходящего алгоритма для конкретных требований должен быть основан на понимании того, как быстро выполняется алгоритм. Сложность алгоритмов описывает степень трудности или затраты ресурсов при выполнении алгоритма. Анализ сложности помогает оптимизировать производительность программы, экономить ресурсы и создавать качественные приложения. На практике существуют два вида оценки сложности алгоритмов:

1. **Временная сложность.** Позволяет оценить время, необходимое для выполнения алгоритма в зависимости от размера входных данных. Для анализа используются такие методы, как оценка в худшем случае (worst-case), среднем случае (average-case) и лучшем случае (best-case). Наиболее распространенным является оценка в худшем случае, так как она дает наиболее пессимистичные результаты. Оценка временной сложности обычно выражается в виде «О-большое» нотации [5].

2. **Пространственная сложность.** Оценивает объем памяти, необходимый для его выполнения и включает в себя анализ структур данных, массивов, списков и других объектов, которые используются в алгоритме, что позволяет определить, как алгоритм будет влиять на объем занимаемой им памяти при различных входных данных.

Оптимизация пространственной сложности включает в себя поиск способов уменьшения потребления памяти алгоритмом без ущерба его функциональности, может включать в себя

выбор более эффективных структур данных или использование алгоритмов, которые требуют меньшего объема памяти [6].

Распространенные варианты сложности алгоритмов и их краткое описание приведены в табл. 1.

Табл. 1. **Варианты сложности алгоритмов**

Сложность	Описание	Пример
$O(1)$	Константная сложность. Время выполнения алгоритма остается постоянным и не зависит от объема данных.	Получение элемента массива по индексу
$O(\log n)$	Логарифмическая сложность. Время выполнения алгоритма увеличивается логарифмически с увеличением размера входных данных (n).	Бинарный поиск
$O(n)$	Линейная сложность. Оценка временной сложности $O(n)$ означает, что время выполнения алгоритма растет линейно с увеличением размера входных данных.	Поиск элемента в неотсортированном массиве
$O(n \log n)$	Линейно-логарифмическая сложность	Быстрая сортировка
$O(n^2)$	Квадратичная	Сортировка выбором
$O(n^3)$	Кубическая	Перемножение матриц
$O(C^n)$	Экспоненциальная	Встречается в алгоритмах, которые решают проблемы методом "разделяй и властвуй" или используют рекурсию без оптимизации.
$O(n!)$	Факториальная	Комбинаторные алгоритмы

Основными факторами, влияющими на сложность алгоритмов, являются:

1. Входные данные.

1.1. Размер и формат входных данных оказывают значительное влияние на сложность алгоритмов. Алгоритмы могут иметь различную производительность в зависимости от объема данных, с которыми им приходится работать. Например, алгоритмы, имеющие линейную сложность, могут столкнуться с затруднениями при обработке больших объемов данных, в то время как алгоритмы с логарифмической сложностью могут быть более оптимальными в таких случаях.

1.2. Степень упорядоченности данных также влияет на сложность алгоритмов. Например, для упорядоченных данных алгоритмы сортировки могут работать более эффективно, в то время как для неупорядоченных данных могут потребоваться более сложные алгоритмы.

2. Структура данных. Выбор подходящих структур данных является ключевым фактором в проектировании алгоритмов. Различные структуры данных, такие как массивы, списки, деревья и хэш-таблицы, могут использоваться для различных задач. Например, для поиска элемента в большом массиве продуктивным может быть использование бинарного поиска. Эффективное использование структур данных также связано с оптимальным расходом памяти и времени.

3. Операции и операторы. Выбор операций включает в себя использование подходящих математических и логических операторов для выполнения необходимых действий. Оптимизация алгоритмов включает в себя исключение избыточных шагов для достижения лучшей производительности.

Предположим, необходимо решить задачу по поиску наименьшего элемента в неупорядоченном массиве. Рассмотрим два алгоритма для ее решения: линейный поиск и бинарный поиск:

1. Линейный поиск:

1.1. Временная сложность: $O(n)$, где n – размер массива.

1.2. Пространственная сложность: $O(1)$, так как алгоритм не использует дополнительную память.

2. Бинарный поиск:

2.1. Временная сложность: $O(\log n)$, при условии, что массив отсортирован.

2.2. Пространственная сложность: $O(1)$, так как алгоритм также не требует дополнительной памяти.

В данном случае, если массив уже отсортирован, бинарный поиск будет более подходящим, особенно при больших объемах данных. Однако, если сортировка массива занимает слишком много времени, линейный поиск может быть предпочтительным выбором. Такой подход к выбору алгоритма помогает учесть различные аспекты задачи и оптимизировать ее решение с учетом требований к производительности и ресурсам.

Программное средство оценки алгоритмов поиска и сортировки

Разработано программное средство (AlgoExplorer) пошагового визуального анализа основных алгоритмов поиска и сортировки данных. Диаграмма вариантов использования программного средства AlgoExplorer представлена на рис. 2.

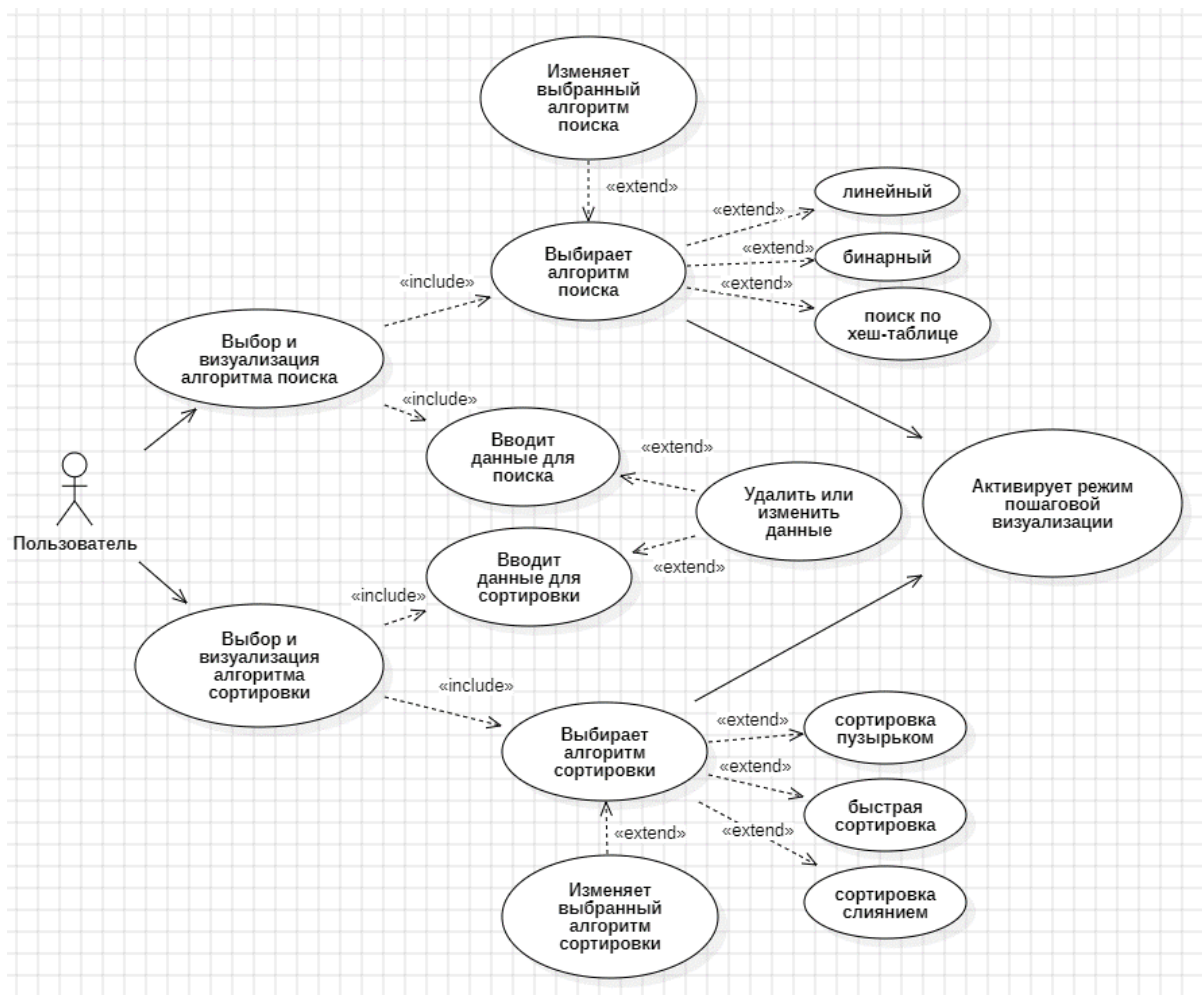


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования программного средства AlgoExplorer

Из рис. 2 видно, что AlgoExplorer предоставляет возможность не только наблюдать за выполнением алгоритмов сортировки и поиска, но и взаимодействовать с ними. Пользователь может изменять входные данные и наблюдать, как алгоритмы реагируют на эти изменения. На рис. 3 приведена диаграмма взаимодействия основных компонентов программного средства для процесса выбора и визуализации алгоритма поиска.

Программное средство AlgoExplorer реализовано на языке программирования Python 3.11, с использованием библиотек Flet, что позволило обеспечить интуитивно понятный и легко управляемый интерфейс, доступный на различных операционных системах, что делает визуализацию алгоритмов доступной для широкого круга пользователей.

На рис. 4 отражены основные функциональные компоненты графического интерфейса.

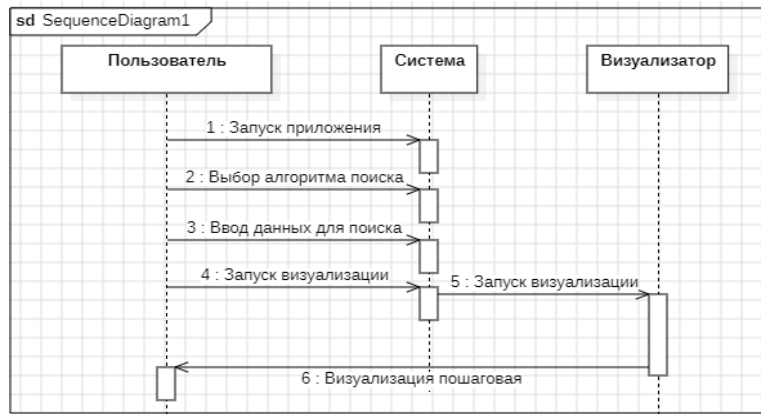


Рис. 3. Диаграмма последовательности для визуализации алгоритмов

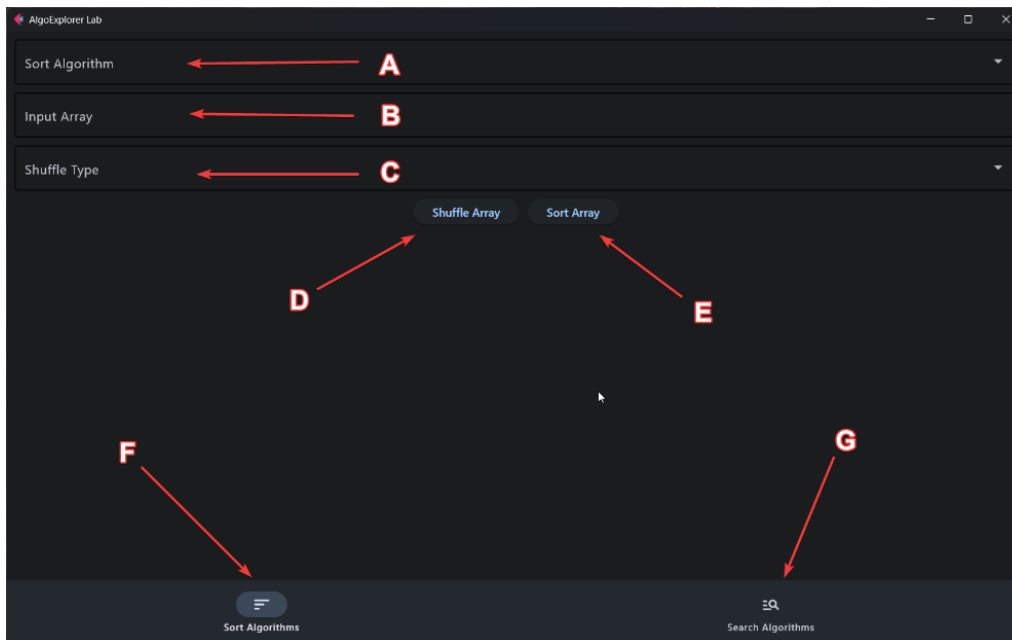


Рис. 4. Графический пользовательский интерфейс программного средства AlgoExplorer

На рис. 4 видно, что основными элементами управления программного средства являются:

1. Выпадающий список, обозначенный буквой А.

Позволяет пользователю выбрать алгоритм сортировки: пузырьковая и быстрая сортировки, сортировки вставками, выбором, кучей и слиянием, а также сортировка Шелла.

2. Строка для ввода, обозначенная буквой В.

Служит для пользовательского ввода массива целых чисел. Поддерживается как простое перечисление элементов массива через знак пробела или запятую, так и запись интервалов через знак "-". Например, ввод "1 2 3 4 5" эквивалентен строке "1-5", а ввод "1, 2, 3, 4, 5, 10" – строке "1-5, 10". Присутствует также защита от нечислового ввода и некорректных интервальных значений.

3. Выпадающий список, обозначенный буквой С.

Необходим для выбора способа реорганизации элементов массива. Введенный массив можно оставить без изменений, перемешать его элементы случайным образом, вывести элементы в обратном порядке или отсортировать таким образом, чтобы каждый элемент случайным образом сменил свое положение в массиве, но не более чем на две позиции, что удобно для приведения заранее упорядоченных последовательностей в состояние близкое к отсортированному.

4. Кнопка "Shuffle Array", обозначенная буквой D.

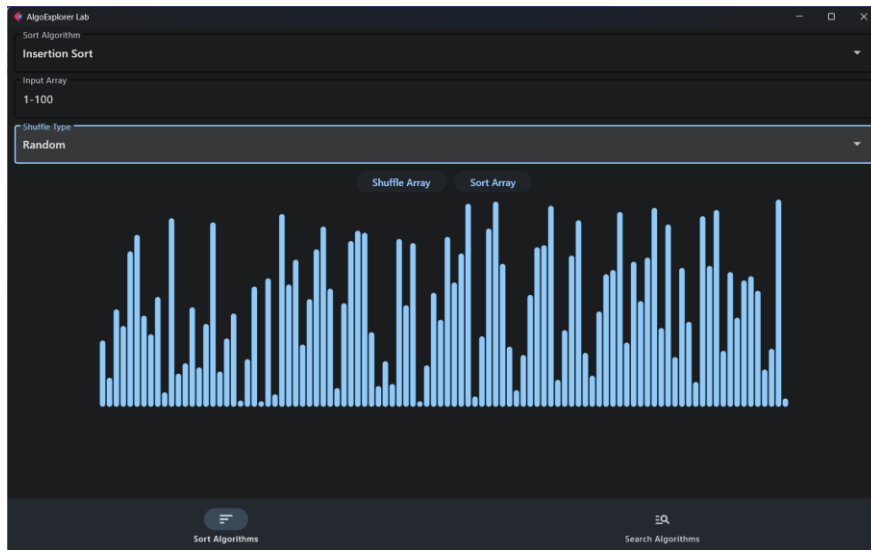
Применяет к введенной в строку В последовательности выбранный в списке С способ реорганизации элементов и выводит полученный результат на экран в виде столбчатой диаграммы.

5. Кнопка "Sort Array", обозначенная буквой *E*.

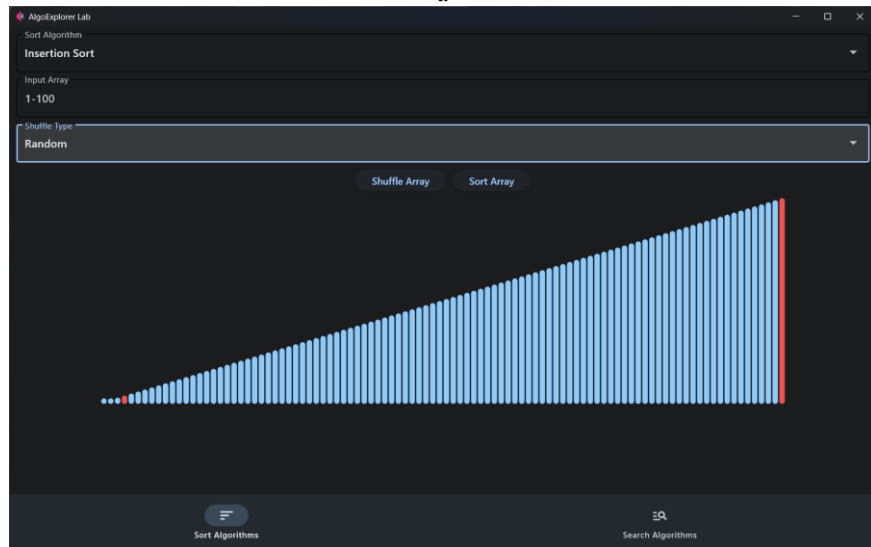
Запускает пошаговую сортировку для введенного пользователем массива чисел.

6. Кнопки *F* и *G*, позволяют пользователю переключаться между режимами анализа алгоритмов сортировки и поиска.

Пример визуализации входных данных и результата работы алгоритма сортировки приведен на рис. 5. В ходе работы разработанное программное средство демонстрирует каждый шаг работы выбранного алгоритма. Для этого текущий обрабатываемый элемент массива, ключевой элемент, подсвечивается красным цветом. В зависимости от алгоритма ключевыми считаются один или сразу несколько столбцов. Наведение мыши на любой из столбцов диаграммы покажет его численное значение. До окончания процесса сортировки кнопки *D* и *E* блокируются. Для обеспечения наглядности для каждой сортировки было подобрано значение задержки между итерациями, таким образом программа не отражает реальной длительности выполнения того или иного алгоритма, однако позволяет оценить количество операций.



a



б

Рис. 6. Пример работы сортировки вставками для пользовательского ввода "1-100":
a – элементы массива перемешаны случайным образом, *б* – массив был упорядочен с помощью сортировки вставками

В режиме работы с алгоритмами поиска к описанным выше полям добавляется строка для ввода целевого значения, позицию которого необходимо обнаружить в заданном пользователем массиве. На выбор предлагаются алгоритмы линейного и бинарного поиска, а также хеширование. В ходе поиска на диаграмме также подсвечиваются ключевые столбцы.

Заключение

Выбор алгоритмов поиска и сортировки данных является важной задачей при разработке ПО. Понимание, как алгоритм будет вести себя при различных условиях, помогает выбирать наилучшие подходы для решения конкретных задач и минимизировать использование ресурсов, что особенно важно в контексте разнообразных платформ, от устройств с ограниченными ресурсами до серверных систем с высокой производительностью.

Анализ сложности в разработке программного обеспечения играет ключевую роль, поскольку он позволяет создавать эффективные и оптимизированные алгоритмы. Однако лучшее понимание принципов работы алгоритмов поиска и сортировки дает их визуальное представление, что также позволяет оценить их зависимость от входных данных.

Разработанное программное средство пошагового анализа алгоритмов поиска и сортировки данных визуализирует не только полный цикл работы выбранного алгоритма, но и позволяет детально рассмотреть каждый его шаг. Это обеспечивает лучшее понимание особенности работы каждого алгоритма и их эффективность в различных сценариях.

SOFTWARE FOR STEP-BY-STEP ANALYSIS OF DATA SEARCH AND SORTING ALGORITHMS

E.V. DOVGULEVICH, V.S. SHUKA, O.G. SHEVCHUK

Abstract. A software for step-by-step analysis of data search and sorting algorithms has been developed. The main capabilities and operating principles of the software are described. A description of the search and sorting algorithms used is provided. Methods for estimating the computational complexity of algorithms are considered.

Keywords: search algorithms, sorting algorithms, computational complexity of algorithms.

Список литературы

1. Клейнберг Дж., Тардос Е. Алгоритмы: разработка и применение. Классика Computer Science, СПб., 2016.
2. Левитин А. В. Алгоритмы. Введение в разработку и анализ, М., 2006.
3. Стивен С.С. Алгоритмы. Руководство по разработке., СПб., 2022.
4. Рафгарден Т. Совершенный алгоритм. Основы., СПб., 2019.
5. Как определить теоретическую сложность алгоритма. Интернет-источник: <https://uchet-jkh.ru/i/kak-opredelit-teoreticeskuyu-sloznost-algoritma>
6. Лафоре Р. Структуры данных и алгоритмы в Java. Классика Computers Science. 2-е изд., СПб., 2013.

ТОНОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОРОГОВОЙ ОБРАБОТКИ ГИСТОГРАММЫ

А.Д. РОБАЧЕВСКИЙ¹, Д.А. СИКОРСКИЙ², С.А. МОСКАЛЁВ³,
В.В. ЧЕПИКОВА¹, В.Ю. ЦВЕТКОВ¹

1 – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

2 – ОАО «ПЕЛЕНГ», Республика Беларусь

3 – ОАО «Конструкторское бюро «Дисплей», Республика Беларусь

Поступила в редакцию 20 марта 2024

Аннотация. Рассматривается задача сжатия динамического диапазона инфракрасных изображений для их отображения на стандартном мониторе. Разработан алгоритм управляемого тонового отображения на основе пороговой обрезки, уплотнения и линейного сжатия гистограммы с низкой вычислительной сложностью. Алгоритм позволяет перераспределять яркость изображения за счет изменения формы гистограммы с помощью изменения параметров пороговой сигмоиды, задаваемых оператором. Показано, что предложенный алгоритм обеспечивает за счет выбора параметров пороговой сигмоиды лучшие интервальные показатели качества тонового преобразования в значимой части динамического диапазона по сравнению с алгоритмом эквализации гистограммы.

Ключевые слова: уменьшение динамического диапазона изображений, инфракрасные изображения, управление формой гистограммы.

Введение

Сжатие динамического диапазона инфракрасных (ИК) изображений с минимальными потерями информации о деталях широко используется в системах видеонаблюдения. Благодаря высокому качеству и простоте распространение получил алгоритм тонового отображения на основе выравнивания гистограммы (Histogram Equalization, HE) [1]. Недостатком данного алгоритма является невозможность управления параметрами преобразования, кроме как через форму интегральной функции распределения. Такая функция строится по гистограмме яркости пикселей исходного ИК-изображения, но может быть видоизменена для коррекции формы гистограммы преобразованного ИК-изображения. Установление связи между необходимым преобразованием для конкретного ИК-изображения с широким динамическим диапазоном и формой интегральной функции распределения является сложной задачей. На практике часто используется заранее известная интегральная функция распределения эталонного изображения. Такой подход не всегда обеспечивает приемлемое качество тонового отображения.

Целью работы является повышение качества управляемого сжатия динамического диапазона ИК-изображений при низкой вычислительной сложности преобразования.

Алгоритм управляемого тонового отображения ИК-изображений

Для обеспечения возможности изменения степени сжатия динамического диапазона ИК-изображений предлагается алгоритм TCLHC (Thresholding, Compaction and Linear Histogram Compression) управляемого тонового отображения на основе пороговой обрезки, уплотнения и линейного сжатия гистограммы. Алгоритм TCLHC состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Формирование гистограммы яркости исходного ИК-изображения с широким динамическим диапазоном.

Шаг 2. Построение линии пороговых значений повторяемости по гистограммы яркости исходного ИК-изображения в форме сигмоиды (в ручном режиме на основе визуального контроля) с учетом того, что значения редко встречающихся пикселей будут заменены ближайшими часто встречающимися значениями (см. пример на рис. 1).

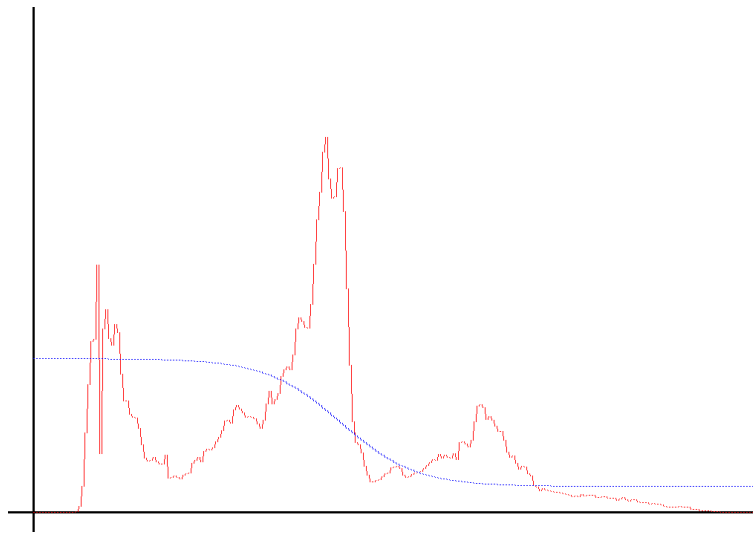


Рис. 1. Кривая пороговых значений

Для построения гистограммы используется выражение

$$y(x) = \frac{2r \max}{1 + e^{d(x-c_x-w-\min)}} + (c_y - r) \max,$$

где r – половина расстояния между двумя горизонтальными асимптотами, c_y – показывает ординату точки центра сигмоиды, c_x – показывает абсциссу точки центра, d – показывает степень экспоненты (при отрицательных значениях d сигмоида отзеркаливается), \max – максимальное значение гистограммы повторяемости, w – ширина полосы гистограммы, \min – минимальное значение яркости изображения.

Шаг 3. Пороговая обрезка гистограммы. Значения пикселей исходного ИК-изображения, соответствующие значениям гистограммы, меньшим значения порога повторяемости, заменяются ближайшими значениями пикселей исходного ИК-изображения, соответствующими значениям гистограммы, равным или большим порога повторяемости. В результате формируется загрубленное ИК-изображение, на гистограмме которого увеличивается количество нулевых элементов (см. пример на рис. 2).

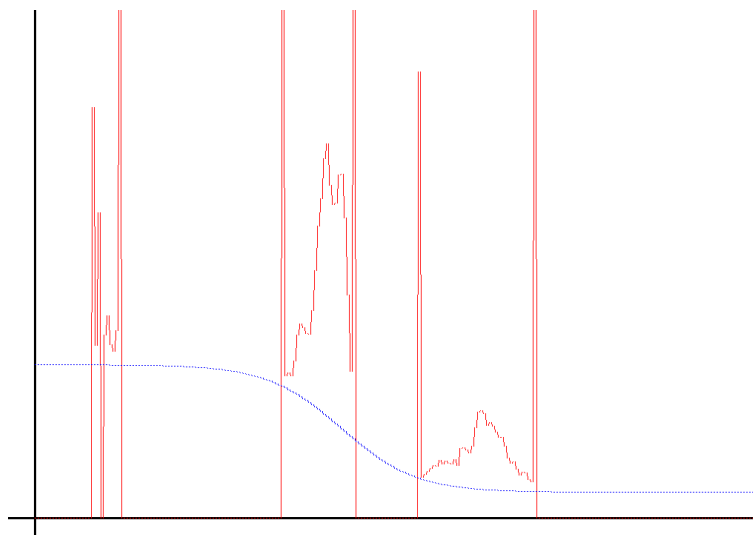


Рис. 2. Пороговая обрезка гистограммы

Шаг 4. Поиск нулей и уплотнение гистограммы загрубленного ИК-изображения. Слева направо осуществляется поиск нулевых значений гистограммы загрубленного ИК-изображения. Если нулевое значение гистограммы найдено, то все значения гистограммы справа от нулевого сдвигаются на одно значение влево. В результате гистограмма уплотняется за счет исключения нулевых элементов и формируется уплотненное ИК-изображение с более узким динамическим диапазоном по сравнению с исходным ИК-изображением, рис. 3.

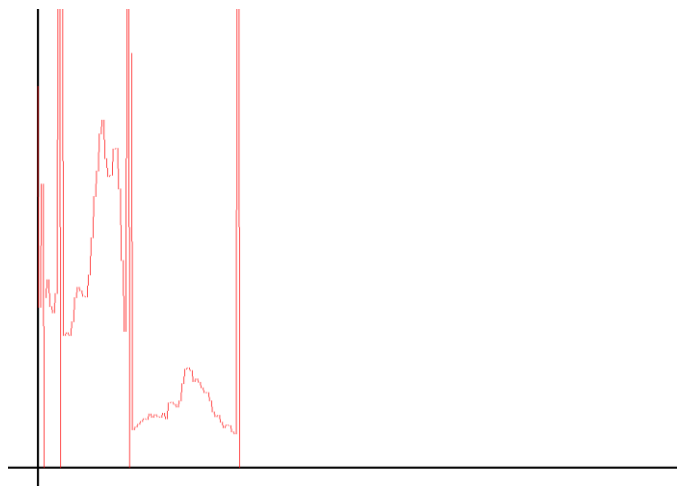


Рис. 3. Уплотнение гистограммы

Шаг 5. Линейное преобразование уплотненного ИК-изображения к требуемому динамическому диапазону. Это может быть сжатие или растяжение гистограммы яркостей в зависимости от соотношения требуемой ширины динамического диапазона результирующего ИК-изображения и максимального значения яркости, уплотненного ИК-изображения.

Оценка качества тонового отображения

Для оценки качества тонового отображения использованы три тестовых ИК-изображения (ИК-1 – ИК-3) с динамическим диапазоном 65536 уровней яркости. На рис. 4 приведены ИК-изображения после их линейного отображения в диапазон 0,255 уровней яркости и формы гистограмм их интенсивностей до преобразования.

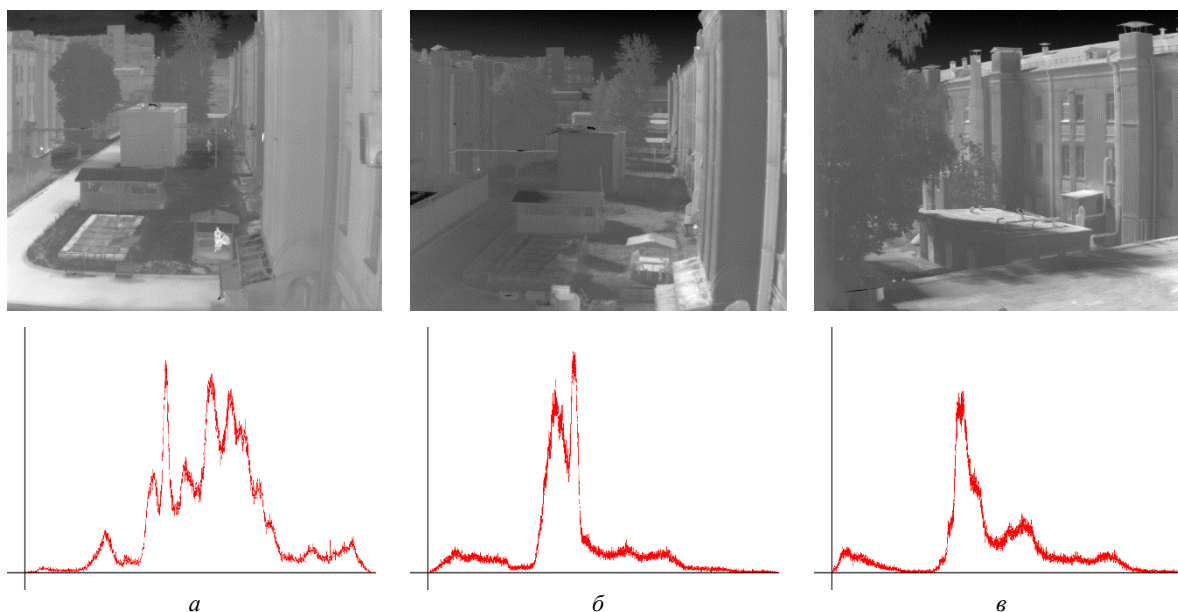


Рис. 4. Тестовые ИК-изображения и их гистограммы: а – ИК-1; б – ИК-2; в – ИК-3

На рис. 5 приведены результаты тонового отображения этих трех тестовых ИК-изображений в динамический диапазон 256 уровней яркости с помощью алгоритма HE.

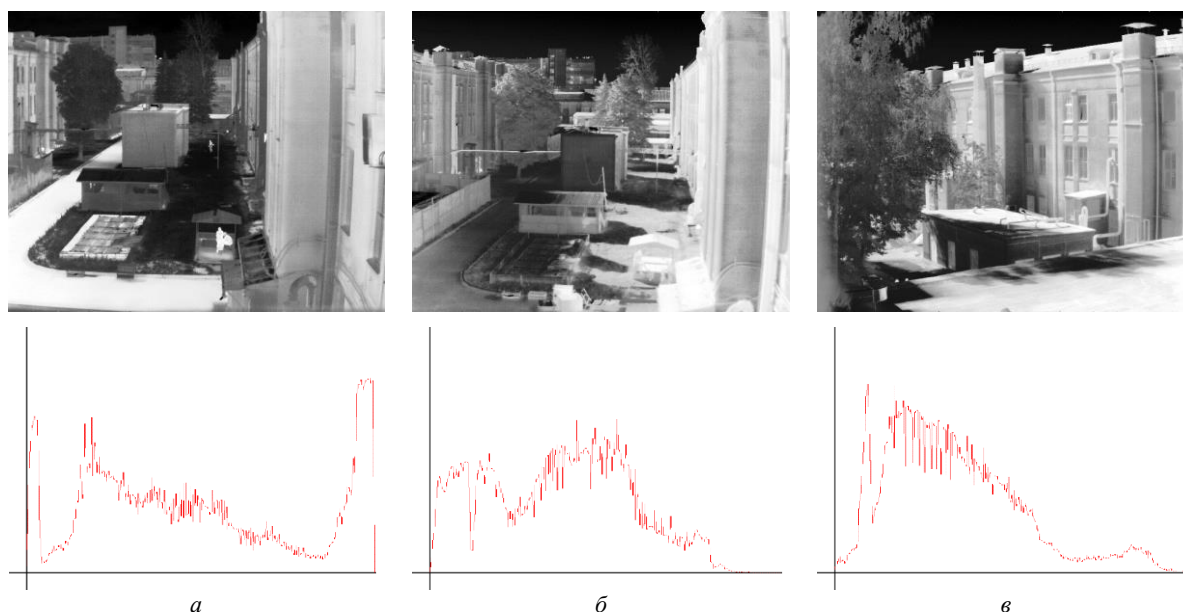


Рис. 5. ИК-изображения и их гистограммы после преобразования с помощью алгоритма HE:
a – ИК-1; *б* – ИК-2; *в* – ИК-3

На рис. 6 и 7 приведены результаты тонового отображения тестовых изображений ИК-1 – ИК-3 в динамический диапазон 256 уровней яркости с помощью предложенного алгоритма TCLHC при нескольких значениях порога повторяемости.

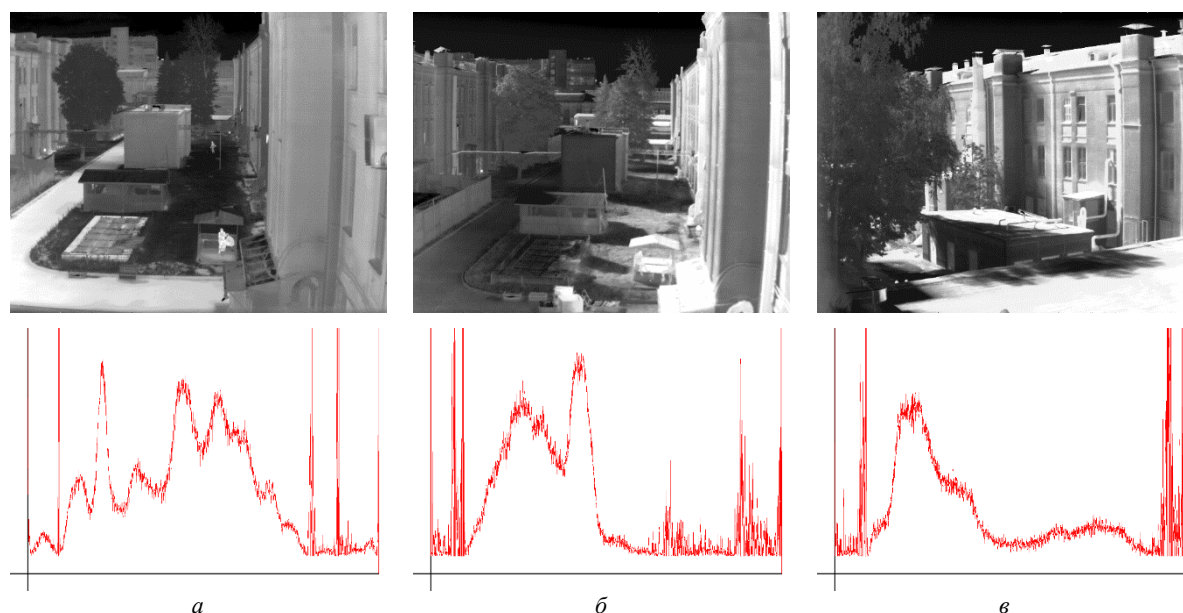


Рис. 6. ИК-изображения и их гистограммы после преобразования с помощью алгоритма TCLHC с линейным порогом 50: *a* – ИК-1; *б* – ИК-2; *в* – ИК-3

В табл. 1 и 2 приведены показатели качества преобразованных тестовых изображений с помощью алгоритмов HE и TCLHC со статическим (Т) и изменяемым сигмоидным (S) порогами. Для оценки качества тонового отображения использованы глобальные показатели, позволяющие оценить контраст (стандартное отклонение D_{ST} и средний градиент G_A), энтропия E_1 , количество локальных экстремумов N_{LE} , статистическая естественность N_S [2], структурная точность F_S [3], качество тональной карты I_{TMQ} [4], а также предложенные в [5] интервальные

и интервально-блочные показатели, позволяющие оценить: потенциальную различающую способность P_D на выбранном интервале динамического диапазона преобразованного изображения; потери E_D различия соседних пикселей на выбранном интервале динамического диапазона преобразованного изображения, обусловленные тоновым отображением; величину E_{MS} нелинейных искажений сжатия динамического диапазона на выбранном интервале динамического диапазона преобразованного изображения относительно линейно преобразованного изображения; равномерность U_H использования динамического диапазона на выбранном интервале динамического диапазона преобразованного изображения относительно базового интервала; неоднозначность L_{DH} тонового отображения, обусловленную различиями передаточных характеристик блоков в интервале динамического диапазона преобразованного изображения, соответствующего интервалу прореженного динамического диапазона исходного изображения; величину L_{DL} нелинейных искажений, связанных с неоднозначностью тонового отображения, в интервале динамического диапазона преобразованного изображения, соответствующего интервалу прореженного динамического диапазона исходного изображения.

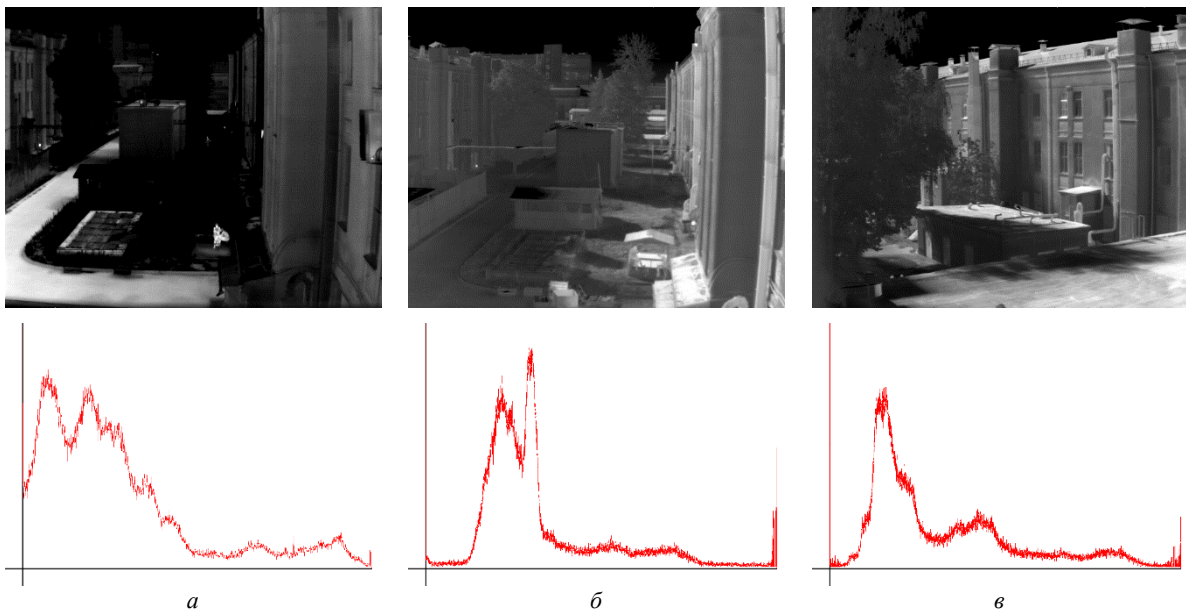


Рис. 7. ИК-изображения и их гистограмма после преобразования с помощью алгоритма TCLHC с пороговой сигмоидой при $r = 0,5$; $y = 0,5$; $x = 0,3$; $d = 200$: a – ИК-1; b – ИК-2; c – ИК-3

Меньшие значения P_D и E_D свидетельствуют о более высокой различающей способности и меньших потерях различия соседних пикселей преобразованного изображения. Меньшие значения E_{MS} говорят о приближении передаточных характеристик блоков (или всего изображения) к линейным. Близкие к единице значение U_H свидетельствуют о более равномерном распределении яркостей на выбранном интервале относительного базового интервала и близости тонового отображения к линейному при равновероятных значениях пикселей. Близость к единице значений L_{DH} говорит о меньшей неоднозначности тонового отображения. Меньшие значения L_{DL} свидетельствуют об уменьшении нелинейных искажений из-за неоднозначности тонового отображения. Значения интервальных показателей вычисляются для перекрывающихся левого (L), центрального (C), правого (R) интервалов гистограммы и всего динамического диапазона изображения (интервал T). В табл. 1, 2 выделены лучшие значения параметров качества тонового преобразования.

Из табл. 1 следует, что по глобальным показателям качества тонового отображения алгоритм HE превосходит алгоритм TCLHC с любой пороговой функцией. Однако, значения

интервальных показателей качества тонового отображения указывают на неоднозначность превосходства алгоритма HE. Согласно этим показателям алгоритм TCLHC лучше передает детали в правой части гистограммы яркости (для более теплых объектов) за счет ее нелинейного растяжения, обеспечивая более высокий локальный контраст.

Табл. 1. Значения глобальных показателей качества ИК-изображений

Показатели	Значения глобальных показателей для алгоритмов								
	HE			TCLHC (T)			TCLHC (S)		
	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-3
N_S	0,0596	0,0635	0,0865	0,0336	0,0533	0,0985	0,0211	0,0245	0,0450
F_S	0,8239	0,8374	0,8842	0,7778	0,7766	0,8306	0,6026	0,6413	0,7668
I_{TMQ}	0,7822	0,7872	0,8068	0,7601	0,7667	0,7956	0,6995	0,7141	0,7610
D_{ST}	47,11	46,23	47,29	35,16	37,81	56,91	22,77	23,24	38,08
G_A	5,06	6,19	6,53	3,81	5,22	7,18	2,22	3,23	4,75
E_I	6,85	6,85	7,24	6,48	6,55	7,07	3,41	5,88	6,53
N_{LE}	34202	28360	25323	33687	26454	24141	23334	21944	21769

Табл. 2. Значения интервальных показателей качества ИК-изображений

Показатели	Значения интервальных показателей для алгоритмов								
	HE			TCLHC			TCLHC		
	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-3
P_D	3,1667	-0,2682	0,3867	2,9792	1,2630	2,4284	7,5833	4,3880	7,3242
E_D	23,8875	8,5156	89,8104	72,0797	58,5825	156,4934	1164,0022	618,6910	358,1024
E_{MS}	19,9126	24,9502	25,9418	22,8952	21,5291	19,8044	31,5900	28,0754	23,0543
U_H	0,9872	0,9867	0,9809	0,7231	1,1685	1,7148	5,1066	0,8279	2,5416
L_{DH}	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L_{DL}	0,0073	0,0137	0,0152	0,0075	0,0096	0,0107	0,0032	0,0101	0,0083
P_D	-5,8470	-14,9207	-12,9086	-4,1672	-11,2020	-13,2289	-4,8782	-6,3270	-7,0805
E_D	-41,3314	-111,2161	-146,2064	-72,4310	-415,0800	-593,5226	-705,4703	-162,6808	-221,0519
E_{MS}	4,3120	8,9541	10,1452	7,0095	10,6635	8,4627	11,9975	15,8161	8,7426
U_H	1,0054	1,0070	1,0112	1,6478	1,2771	0,7332	0,3627	1,9511	0,6815
L_{DH}	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L_{DL}	0,0073	0,0138	0,0153	0,0055	0,0115	0,0187	0,0166	0,0089	0,0214
P_D	0,9958	9,8583	8,4096	-0,2647	6,5771	6,1805	-4,4209	-0,2667	-2,7258
E_D	3,0261	63,9042	6,2242	-24,9154	212,0977	229,9864	-704,6261	-154,7741	-214,6045
E_{MS}	0,5651	1,1087	1,3821	0,9846	1,0702	0,8795	0,6278	2,6761	0,5959
U_H	1,0021	0,9994	0,9970	0,4906	0,3975	1,0130	0,4071	0,1972	0,3933
L_{DH}	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L_{DL}	0,0074	0,0140	0,0155	0,0116	0,0289	0,0183	0,0404	0,0455	0,0543
E_{MS}	10,5758	9,4466	9,3519	10,6900	12,9264	11,8600	27,9447	16,9603	17,6051
L_{DH}	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L_{DL}	0,0073	0,0139	0,0155	0,0073	0,0139	0,0155	0,0074	0,0139	0,0155

Заключение

Предложен алгоритм управляемого тонового отображения на основе пороговой обрезки, уплотнения и линейного сжатия гистограммы с низкой вычислительной сложностью. Алгоритм отличается возможностью выбора порога под контролем оператора для нелинейного растяжения одной части динамического диапазона яркостей инфракрасного изображения за счет другого. С помощью интервальных показателей качества тонового отображения показано, что предложенный алгоритм обеспечивает лучший локальный контраст в выбранной оператором части динамического диапазона.

TONE TRANSFORMATION OF INFRARED IMAGES BASED ON HISTOGRAM THRESHOLDING

A.D. ROBACHEVSKY, D.A. SIKORSKY, S.A. MOSKALEV,
V.V. CHEPIKOVA, V.Yu. TSVIATKOU

Abstract. The problem of compressing the dynamic range of infrared images for their display on a standard monitor is considered. A controlled tone mapping algorithm has been developed based on threshold trimming, compaction and linear histogram compression with low computational complexity. The algorithm allows you to redistribute the brightness of the image by changing the shape of the histogram by changing the threshold sigmoid parameters specified by the operator. It is shown that the proposed algorithm, due to the choice of threshold sigmoid parameters, provides better interval quality indicators of tone transformation in a significant part of the dynamic range compared to the histogram equalization algorithm.

Keywords: image dynamic range reduction, infrared images, histogram shape control.

Список литературы

1. Kim T. K., Paik J. K., Kang B. S. // IEEE Transactions on Consumer Electronics. 1998. Vol. 44, No 1. P. 82–87.
2. Mante V., Frazor R. A., Bonin V., Geisler W. S., Carandini M. // Nat Neurosci. 2005. Vol. 8. P. 1690–1697.
3. Wang Z., Simoncelli E. P., Bovik A. C. / Z. Wang, E. P. Simoncelli, A. C. Bovik // 37th Asilomar Conf. on Signals, Systems & Computers. Pacific Grove, CA, USA. 2003. Vol. 2. P. 1398–1402.
4. Yeganeh H., Wang Z. // IEEE Transactions Image Processing. 2013. Vol. 22, Iss. 2. P. 657–667.
5. Рудиков С. И., Цветков В. Ю., Шкадаревич А. П. // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. 2022. Т. 39, № 11. С. 30–39.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ MANET В СИМУЛЯТОРЕ NS-3

А.А. ПОЗНЯК, К.Г. ТОЛЕЙКО, Т.В. ПОЛУЯН

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 16 марта 2024

Аннотация. В представленной статье описывается работа сетевого симулятора NS-3 и анализ результатов моделирования сети MANET с использованием протоколов маршрутизации OLSR и AODV.

Ключевые слова: самоорганизующаяся сеть, MANET, OLSR, AODV, NS-3.

Введение

Сети ad-hoc (MANET) представляют собой динамические беспроводные сети, в которых устройства могут передвигаться без какой-либо predetermined инфраструктуры. Эти сети играют важную роль во многих аспектах, таких как военные операции, чрезвычайные ситуации и мобильные сенсорные сети. Однако, из-за своей сложности и децентрализованной природы, моделирование и анализ таких сетей является сложной задачей.

В последние десятилетия исследователи активно использовали компьютерные симуляторы для изучения MANET и их характеристик. Симуляторы позволяют создавать виртуальные среды, в которых можно моделировать различные аспекты MANET, такие как маршрутизация, пропускная способность и задержка передачи данных. Это позволяет анализировать и оценивать производительность и поведение сети в различных сценариях и условиях.

Одним из наиболее распространенных симуляторов, используемых для моделирования MANET, является NS-3 (Network Simulator 3). NS-3 является мощным и гибким инструментом, который предоставляет широкий набор возможностей для моделирования и анализа различных типов сетей, включая MANET.

В данной статье мы сосредоточимся на моделировании сети MANET в симуляторе NS-3 с использованием двух популярных протоколов маршрутизации: OLSR (Optimized Link State Routing) и AODV (Ad-Hoc On-Demand Distance Vector).

Основная часть

NS-3 является мощным инструментом для моделирования и исследования сетевых систем. Он предоставляет широкий набор модулей, которые позволяют моделировать различные аспекты сетевых протоколов и сценариев. Среди всех доступных модулей есть модули для работы с протоколами Optimized Link State Routing (OLSR) и Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) (рис. 1).

Модуль OLSR позволяет создавать сценарии сетей и настраивать параметры протокола OLSR, включая интервалы обновления маршрутов, таймауты и метрики качества канала. Он также обеспечивает сбор статистики, мониторинг и анализ производительности сети при использовании протокола OLSR.

Модуль AODV предоставляет аналогичные возможности для создания сценариев беспроводных сетей и настройки параметров протокола AODV, включая таймауты, интервалы обновления маршрутов и максимальное количество прыжков. Он также предоставляет функциональность для сбора статистики, мониторинга и анализа производительности сети при использовании протокола AODV.

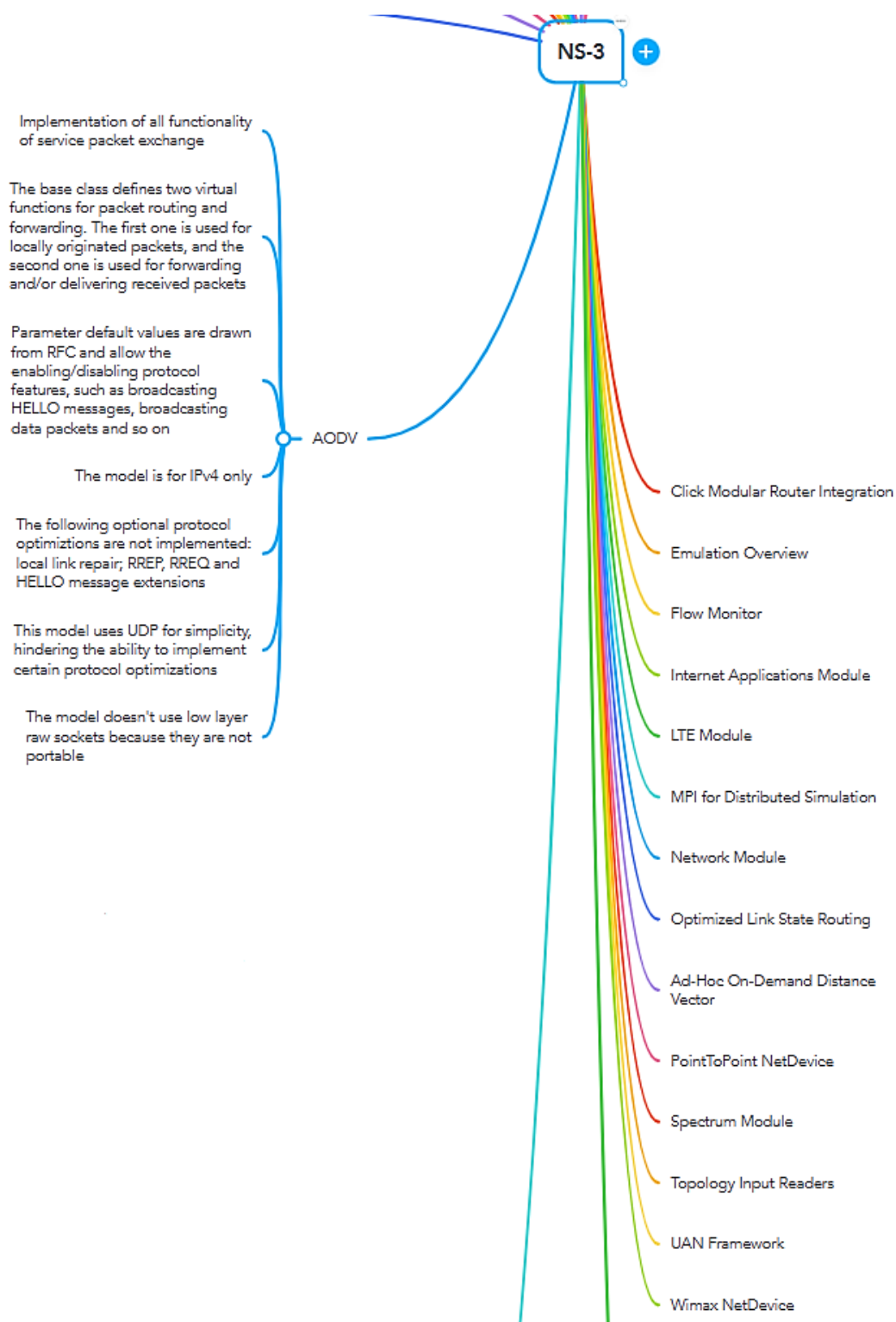


Рис. 1. Выдержка из структурной схемы NS-3. Протоколы OLSR и AODV

На рис. 1 представлена выдержка из структурной схемы сетевого симулятора NS3 на которой виден стек доступных для работы модулей, а также подробное описание модуля протокола AODV:

1. Реализация всего функционала обмена пакетами услуг.
2. Базовый класс определяет две виртуальные функции для маршрутизации и пересылки пакетов. Первый используется для пакетов локального происхождения, а второй используется для пересылки и/или доставки полученных пакетов.

3. Значения параметров по умолчанию взяты из RFC и позволяют включать/отключать функции протокола, такие как широковещательная рассылка сообщений HELLO, широковещательная рассылка пакетов данных и т.д.

4. Модель предназначена только для IPv4.

5. Не реализованы следующие дополнительные оптимизации протокола: восстановление локального канала; Расширения сообщений RREP, RREQ и HELLO.

6. В этой модели для простоты используется UDP, что затрудняет реализацию определенных оптимизаций протокола.

7. В модели не используются необработанные сокетом нижнего уровня, поскольку они непереносимы.

При создании сценария сети в NS-3 можно выбрать подходящую модель движения в зависимости от конкретной задачи или требований исследования. Для моделирования движения узлов можно использовать несколько моделей, включая:

1. RandomWaypoint: модель случайного блуждания, в которой узлы перемещаются случайным образом по определенной области.

2. RandomWalk: модель случайного пешего движения, которая моделирует случайные перемещения узлов в пределах определенной области.

3. GaussMarkov: модель, которая моделирует случайные изменения скорости и направления движения узлов на основе процесса Гаусса-Маркова.

4. TraceRoute: модель, которая использует трассировку движения, чтобы узлы проходили заранее записанный путь.

Выбор модели движения в NS-3 зависит от нескольких факторов:

1. Тип сети: NS-3 поддерживает модели движения для беспроводных сетей, проводных сетей, сетей с различными технологиями (например, WiFi, LTE, WiMAX и прочие). Выбор модели движения будет зависеть от конкретного типа сети, для которой требуется моделирование движения.

2. Тип узлов: различные типы узлов (например, стационарные, подвижные, транспортные средства) требуют различных моделей движения. Некоторые модели могут учитывать специфические характеристики движения, такие как ускорение, маневренность и изменения скорости.

3. Цель исследования: выбор модели движения может зависеть от конкретных целей исследования. Например, если требуется оценить производительность маршрутизации в мобильной сети, то может потребоваться использование более реалистичных моделей движения.

4. Доступность и точность моделей: NS-3 предоставляет различные модели движения с разной степенью детализации и точности. Выбор модели может также зависеть от доступности моделей в библиотеке NS-3 и их подходящей точности конкретных задач.

Наш случай предполагает использование модели RandomWaypoint.

За основу в данной работе был взят файл manet-routing-compare.cc [1]. Это файл исходного кода программы, написанной на языке программирования C++, предназначенной для сравнения производительности различных протоколов маршрутизации в беспроводных сетях MANET. В нашем случае протоколов OLSR и AODV.

Программное средство работает по следующему принципу:

1. Генерация топологии сети: программа может создавать виртуальную топологию беспроводной сети, включая узлы и их связи.

2. Реализация протоколов маршрутизации: программа содержит реализации выбранных протоколов маршрутизации в виде функций и классов.

3. Измерение производительности: после симуляции работы маршрутизации на сгенерированной топологии программа оценивает производительность каждого протокола, например, измеряя задержку передачи данных, энергопотребление и надежность связи.

4. Вывод результатов: программа подготавливает отчет с результатами сравнения производительности различных протоколов маршрутизации.

В результате запуска моделирования была получена топология, представленная на рис. 2.

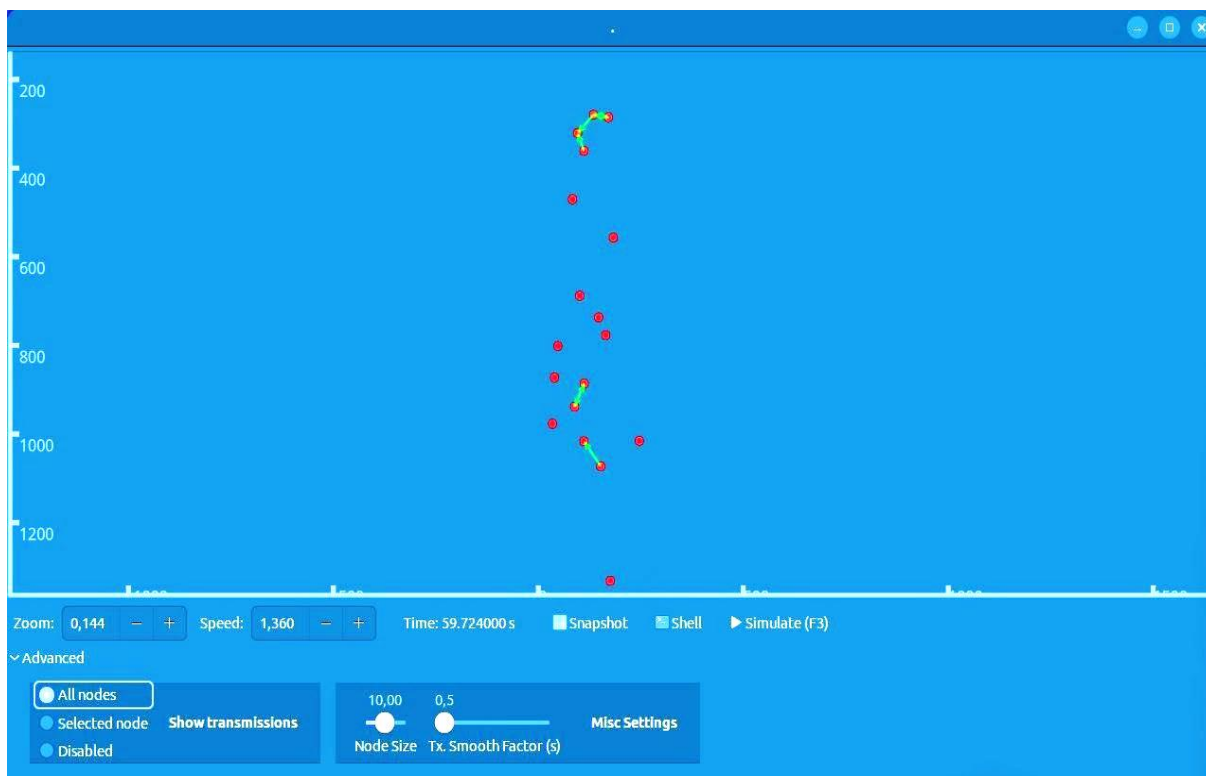


Рис. 2. Топология сети

В результате моделирования были получены данные, сведенные в табл. 1 и табл. 2, о SimulationSecond (время симуляции), ReceiveRate (скорость приема), PacktesReceived (количество полученных пакетов), NumberOfSinks (количество переходов), RoutingProtocol (протокол маршрутизации), TransmissionPower (мощность передачи).

На основе полученных результатов были построены графики зависимостей. Зависимость между ReceiveRate и TransmitPower в сетях зависит от нескольких факторов, включая окружающую среду, характеристики канала связи, протоколы модуляции и кодирования, антенные характеристики и другие параметры системы.

Табл. 1. Результат моделирования с использованием протокола AODV

Время симуляции	Скорость приема	Количество полученных пакетов	Количество переходов	Протокол маршрутизации	Мощность передачи
...
100	0	0	10	AODV	6,5
101	0,512	1	10	AODV	6,5
102	2,048	4	10	AODV	6,5
103	2,048	7	10	AODV	6,5
104	3,584	8	10	AODV	6,5
105	4,096	13	10	AODV	6,5
106	6,656	12	10	AODV	6,5
107	6,144	15	10	AODV	6,5
108	7,68	15	10	AODV	6,5
109	7,68	12	10	AODV	6,5
110	6,144	10	10	AODV	6,5
111	5,12	11	10	AODV	6,5
112	5,632	15	10	AODV	6,5
113	7,68	32	10	AODV	6,5
114	16,384	14	10	AODV	6,5
115	7,168	23	10	AODV	6,5
116	11,776	25	10	AODV	6,5
...

Табл. 2. Результат моделирования с использованием протокола OLSR

Время симуляции	Скорость приема	Количество полученных пакетов	Количество переходов	Протокол маршрутизации	Мощность передачи
...
100	0	0	10	OLSR	6,5
101	0,512	1	10	OLSR	6,5
102	2,048	4	10	OLSR	6,5
103	2,048	4	10	OLSR	6,5
104	2,048	4	10	OLSR	6,5
105	2,048	4	10	OLSR	6,5
106	2,048	4	10	OLSR	6,5
107	2,048	4	10	OLSR	6,5
108	2,048	4	10	OLSR	6,5
109	2,048	4	10	OLSR	6,5
110	2,048	4	10	OLSR	6,5
111	2,048	4	10	OLSR	6,5
112	2,048	4	10	OLSR	6,5
113	2,048	4	10	OLSR	6,5
114	2,048	4	10	OLSR	6,5
115	2,56	5	10	OLSR	6,5
116	2,048	4	10	OLSR	6,5
...

Обычно можно ожидать, что при увеличении мощности передачи скорость приема также будет увеличиваться. Более высокая мощность может преодолевать шумы и помехи, улучшая качество сигнала и увеличивая вероятность успешной передачи данных.

Однако, существует предел, после которого дальнейшее увеличение мощности передачи может привести к ухудшению производительности из-за нелинейных эффектов, межканальных помех или нарушениям ограничений мощности в сети. В таких случаях, увеличение мощности передачи может вызывать искажения сигнала и возникновение межсимвольной интерференции, что приводит к снижению скорости приема.

Таким образом, оптимальный уровень TransmitPower соответствует максимальному ReceiveRate для сети, обеспечивая достаточное покрытие и качество сигнала для всех узлов.

График зависимости ReceiveRate от TransmitPower при моделировании с использованием протоколов AODV и OLSR представлен на рис. 3.

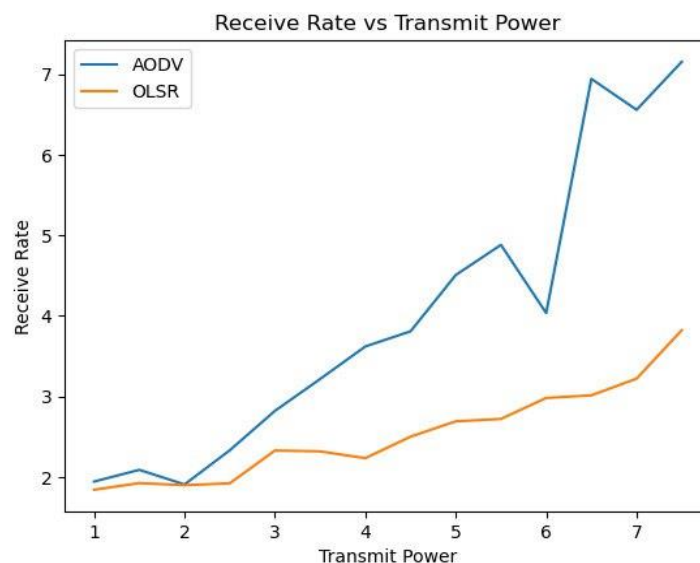


Рис. 3. График зависимости ReceiveRate от TransmitPower. Сравнение протоколов AODV и OLSR

Зависимость PacketsReceived от Nodes в сети с протоколом AODV может быть сложной и зависит от нескольких факторов:

1. Трафик сети: чем больше узлов в сети, тем больше пакетов будет передаваться между ними. Однако с увеличением числа узлов могут возникать проблемы с коллизиями, перегрузкой сети и ухудшением производительности.

2. Эффективность маршрутизации: протокол AODV построен на принципах On-Demand маршрутизации, что означает, что маршруты устанавливаются только при необходимости. С увеличением числа узлов в сети может возникать сложность в поиске и поддержании оптимальных маршрутов, что может отразиться на количестве полученных пакетов.

3. Ресурсные ограничения: увеличение числа узлов в сети может привести к увеличению конкуренции за ресурсы, такие как пропускная способность и энергия. Это может сказаться на стабильности и надежности маршрутизации, что в свою очередь повлияет на количество полученных пакетов.

График зависимости PacketsReceived от Nodes при моделировании с использованием протоколов AODV и OLSR представлен на рис. 4.

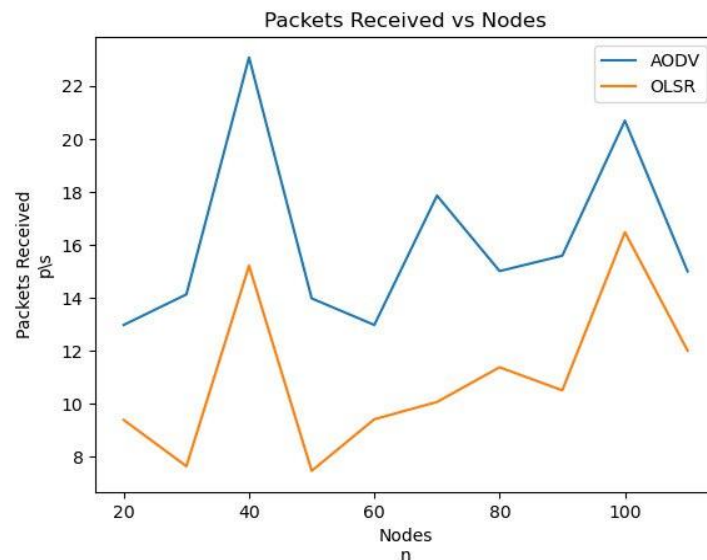


Рис. 4. График зависимости PacketsReceived от Nodes. Сравнение протоколов AODV и OLSR

AODV является протоколом на основе запросов, который инициирует запросы маршрута только при необходимости. Как следствие, количество полученных пакетов может быть невелико в сравнении с другими протоколами, такими как OLSR. Однако скорость приема может быть высокой, когда происходит активный обмен маршрутной информацией.

OLSR, с другой стороны, использует алгоритм состояния ссылок и поддерживает активный обмен этой информацией между узлами сети. Из-за этого OLSR может иметь большое количество полученных пакетов и обмен пакетами, что может привести к более высокой скорости приема.

Однако в данной ситуации можно наблюдать, что протокол AODV эффективнее протокола OLSR. Это возможно при следующих условиях:

1. Динамическая сетевая топология: AODV позволяет находить кратчайший путь между узлами только при необходимости, что делает его более эффективным в динамических сетевых топологиях, где состояние связей между узлами часто меняется.

2. Ограниченные ресурсы: AODV имеет меньшую нагрузку на сеть и использует меньше ресурсов, чем OLSR, что делает его более подходящим для беспроводных сетей с ограниченными ресурсами.

3. Необходимость быстрого обнаружения маршрутов: AODV выигрывает в ситуациях, когда требуется быстрое обнаружение маршрутов из-за частых изменений в топологии сети.

Заклучение

В данной статье проведено исследование применения сетевого симулятора NS-3 для моделирования сети MANET с использованием протоколов маршрутизации OLSR и AODV. Было обнаружено, что протокол AODV проявляет более высокую адаптивность в динамических сценариях сети, где узлы часто меняют свое положение и связи с другими узлами. Он демонстрирует лучшую способность к обнаружению и установлению новых маршрутов при изменении топологии сети. Дальнейшие исследования могут быть направлены на анализ других протоколов маршрутизации, а также на улучшение существующих протоколов для повышения производительности и эффективности сетей MANET.

SIMULATION OF THE MANET NETWORK IN THE NS-3 SIMULATOR

A.A PAZNIAK, K. G. TALEIKA, T.V. PALUYAN

Abstract. This article describes the operation of the NS-3 network simulator and the analysis of the results of modeling the MANET network using the OLSR and AODV routing protocols.

Keywords: self-organizing network, MANET, OLSR, AODV, NS-3.

Список литературы

1. ns3 Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.19/doc/ygen/index.html>.
2. Prashant Kumar Maurya, Gaurav Sharma, Vaishali Sahu, Ashish Roberts, Mahendra Srivastava An Overview of AODV Routing Protocol [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/profile/GauravSharma73/publication/252068339_An_Overview_of_AODV_Routing_Protocol/links/56402a9d08ae45b5d28d37b7/An-Overview-of-AODV-Routing-Protocol.pdf.
3. Clausen, T. Jacquet, P. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) [Электронный ресурс] – 2003. – Режим доступа: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3626>.

УДК 517.18.(075.8)

СИНТЕЗ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В СТРУКТУРЕ ВОДОРОДОПОДОБНЫХ АТОМОВ

И.П. КОБЯК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь**Поступила в редакцию 12 февраля 2024*

Аннотация. Для решения задач синтеза защищенных квантово-криптографических каналов связи рассмотрена модель формирования борновского радиуса как лоренцева расширения пространства ядра. Полученные на основе дифференциальных и интегральных преобразований соотношения позволили определить внутренние перемещения электрона и ядра в сфере атома с учетом их переходов в комплексных пространствах. Результаты расчетов позволили сформировать новый взгляд на источники помех в линиях квантовой связи, что дает возможность избежать ошибок в процессе проектирования каналов связи или выполнить коррекцию уже созданных систем передачи данных.

Ключевые слова: квантовые системы связи, атом водорода, комплексное пространство, Лоренц-фактор, скорость света, энергия струн.

Введение

Задачи синтеза помехозащищенных квантово-криптографических каналов связи требуют точных компьютерных расчетов при проектировании систем обмена данными, имеющими низкую энергетику информационных сигналов. Однако современные методы построения наноэлектронных устройств зачастую основываются на эмпирических соотношениях для параметров, не имеющих под собой физико-математических доказательств или логических обоснований. Например, известный из классики магнетон Бора по неопределенным причинам имеет единицы измерения, содержащие в своем составе множитель $\sqrt{г \cdot см}$ [1,2]. Очевидно, что в реальной природе физические преобразования данного вида не существуют в связи с чем, и все технические проекты, использующие сам указанный параметр, требуют дополнительных исследований. Данные обстоятельства при построении квантово-криптографических систем связи предполагают рассмотрение теории атома с учетом ряда новых физико-математических и логических доказательств, определяя при этом и новые базовые соотношения, характеризующие движение электрона и ядра.

Известно, что электрон водородоподобного атома при движении на релятивистских скоростях создает ряд пространств, моделирование и расчет которых базируется на известных соотношениях Лоренца. Соответственно, и любая орбитальная частица в задачах атомных исследований в общем случае должна рассматриваться как объект с орбитами в комплексных пространствах $\pm Re$ и $\pm Im$.

В задачах исследования помехозащищенности квантовых каналов связи существенное значение приобретают вопросы получения новых результатов на основе классических алгоритмов математики и физики. В частности процессы дифференцирования и интегрирования переменных параметров позволяют получить соотношения связывающие орбиты электрона и ядра с учетом их переходов в комплексном пространстве. Однако, основные задачи и их теоретические решения, содержащие математическую и логическую системность в выполненных расчетах до настоящего времени рассмотрены недостаточно.

Таким образом, вопросы формирования и взаимодействия пространств и массы плазменного электрона, а также ядра атома представляют собой существенный интерес и

рассматриваются в данной работе с точки зрения релятивистской квантовой механики.

Внутреннее пространство атома водорода и его образующее начало

Существование ряда пространств и параметров атома, а также наличие движущихся электронов внутренних сил [3], приводят к идее о существовании самого нулевого радиуса как субъекта суммарного действия полей ядра:

$$\vec{r}_{0,L} = \vec{r}_s \gamma_s, \quad (1)$$

где индекс L - учитывает наличие в практически полученном результате (1) поправки Лоренца, $\vec{r}_{0,L}$ - в частном случае это боровский радиус, параметры \vec{r}_s, \vec{v}_s - соответственно радиус и скорость оболочки ядра (*stripped atom*), параметр \vec{r}_s, \vec{v}_s - Лоренц фактор скорости ядра, а вектор-стрелка указывает на знак параметра.

В такой интерпретации физических процессов, используя классическое значение радиуса \vec{r}_s со скоростью вращения \vec{v}_s , можем сформировать один из базовых законов релятивистской механики, а именно соотношение для расчета радиуса ядра в виде:

$$\vec{r}_s = \vec{r}_{0,L} \beta_s, \quad (2)$$

где β_s - поправка Лоренца.

Теперь, считая, что измеренное значение \vec{r}_s известно, а нулевой радиус имеет классическое значение $\vec{r}_{0,L}$ из (2) можем определить скорость ядра \vec{v}_s по формуле:

$$\vec{v}_s = \vec{c} \sqrt{1 - \frac{r_s^2}{r_0^2}}, \quad (3)$$

Итак, в данной постановке задачи скорость вращения внешнего радиуса ядра оказывается весьма близкой к скорости света \vec{v}_s и может рассматриваться как скорость собственного существования данного нанообъекта.

Рассмотрим соотношение (1) при условии действия на ядро внешней энергии струн и соответственно обретения оболочкой ядра скорости движения (примерно) равной и выше скорости света. При исследовании атома будем учитывать, что скорость света как критическая недостижима в реальных пространствах нанообъектов. Таким образом, предельное значение скорости вращения оболочки ядра в Re -пространстве ограничим значением $\vec{v}_{s,c} = \vec{c} - \Delta_1 \vec{c} > \vec{v}_s$, где $\Delta_1 \vec{c}$ - бесконечно малая величина. Итак, считая, что радиус $\vec{r}_{0,L}$ в текущем цикле излучения имеет условно постоянное значение, получаем закон изменения радиуса ядра вида $\vec{r}_s \rightarrow \vec{r}_{s,c}$ на околосветовой скорости $\vec{c} - \Delta_1 \vec{c}$:

$$\vec{r}_{0,L} = \vec{r}_{s,c} \gamma(\Delta_1 \vec{c}), \quad (4)$$

где $\gamma(\Delta_1 \vec{c})$ - это Лоренц-фактор от скорости $\vec{c} - \Delta_1 \vec{c}$.

Для перехода оболочки ядра в мнимое пространство ($-Im$) скорость \vec{v}_s в (4) должна стать равной: $\vec{v}_s = -\vec{c} - \Delta_2 \vec{c}$ так как реализуется в пятом измерении. При этом имеем:

$$\vec{r}_{0,L} = \vec{r}_{s,c} \gamma(\Delta_2 \vec{c}). \quad (5)$$

В равенстве (5) Лоренц-фактор должен быть взят равным:

$$\gamma_s(\Delta_2 \vec{c}) = -j \sqrt{\frac{\vec{c}}{2\Delta_2 \vec{c}}}.$$

Тогда из (5) имеем физическое соотношение параметров:

$$\vec{r}_{0,L} \sqrt{\frac{2\Delta_2 \bar{c}}{\bar{c}}} \Rightarrow -j\vec{r}_{s,c}, \quad (6)$$

которое определяет переход пространства ядра вида $\vec{r}_{s,c} \rightarrow -j\vec{r}_{s,c}$. Математически равенство (6) устанавливается путем умножения левой части данного соотношения на поправку Лоренца:

$$\vec{r}_{0,L} \sqrt{\frac{2\Delta_2 \bar{c}}{\bar{c}}} [\beta_s(\Delta_2 \bar{c})] = -j\vec{r}_{s,c}.$$

Из данного равенства следует, что:

$$-j\vec{r}_{0,L} \frac{2\Delta_2 \bar{c}}{\bar{c}} = -j\vec{r}_{s,c} \quad (7)$$

при этом считаем, что радиус $-j\vec{r}_{s,c}$ не представляет собой предельно сжатого пространства, что доказывает сформированный множитель в левой части соотношения: $\frac{2\Delta_2 \bar{c}}{\bar{c}} < \sqrt{\frac{2\Delta_2 \bar{c}}{\bar{c}}}$.

Из выполненных преобразований можно сделать вывод о том, что расчеты, начиная с соотношения (5), должны осуществляться раздельно для левой и правой частей равенства. Это следует из того, что функциональная зависимость пространства электрона от скорости вращения ядра имеет нелинейный характер, а равенство вида (7) устанавливается только путем физико-математического анализа процессов движения.

Далее, при увеличении скорости вращения оболочки ядра до значения $\vec{v}_s = -\bar{c}\sqrt{2} + \Delta_3 \bar{c}$ поправка Лоренца становится равной $\beta_s(\Delta_3 \bar{c}) = j\sqrt{1-\psi}$, где $\psi = \frac{2\sqrt{2}\Delta_3 \bar{c}}{\bar{c}} + \frac{\Delta_3^2 \bar{c}}{c^2}$.

Тогда на основании (6) можем записать: $-\vec{r}_{0,L} \sqrt{1-\psi} \Rightarrow -j\vec{r}_{s,c}$, а с учетом (7) и поправки $\beta_s(\Delta_3 \bar{c})$ получаем физическое соотношение:

$$-j\vec{r}_{0,L}(1-\psi) \Leftarrow -j\vec{r}_{s,c}, \quad (8)$$

что указывает на уменьшение радиуса $-j\vec{r}_{s,c}$, до уровня $-j\vec{r}_{0,L}(1-\psi)$ на скорости $\vec{v}_s = -\bar{c}\sqrt{2} + \Delta_3 \bar{c}$.

Дифференциальное преобразование соотношения для радиуса ядра

С учетом полученных выше результатов сформулируем следующую теорему.

Теорема 1. *Re-пространственная оболочка ядра атома водорода радиуса \vec{r}_s за счет обретения внешней энергии струн является образующим началом пространства электрона с радиусом $\vec{r}_{0,L}$, преобразуемым в орбиту шестого измерения $-j\vec{r}_{s,c}$ на скорости $\vec{v}_s = -\bar{c} - \Delta_2 \bar{c}$ уменьшаемую на скорости $\vec{v}_s = -\bar{c}\sqrt{2} + \Delta_3 \bar{c}$ до уровня $-j\vec{r}_{0,L}(1-\psi)$, и преобразуемую далее в Re-пространство радиуса $\vec{r}_{0,L}\sqrt{2}$.*

Доказательство. Возведем в квадрат обе части соотношения (3). При этом процесс дифференцирования $\frac{\partial}{\partial \vec{r}_s}$ вновь полученного уравнения позволяет получить соотношение:

$$\frac{2\vec{r}_s}{r_{0,L}^2} = -\frac{8\pi^2 \vec{r}_s \omega_s^2}{c^2}. \quad (9)$$

Из (9) следует теоретическое равенство:

$$\vec{c} = j2\pi \vec{r}_{0,L} \omega_s. \quad (10)$$

Соотношение (10) показывает, что на радиусе $j\vec{r}_{0,L}$ за счет энергии струн, движущих ядро, образуется граница сферы атома, представляющая собой предельную минимальную мнимую

оболочку. Кроме того, данное соотношение указывает на возможность перетекания плазменной материи из пространства в пространство на релятивистских скоростях. Иными словами в условиях существования равенства (10) представляется возможным перетекание плазменной материи из $\pm Re$ -пространства в $\pm Im$ и обратно.

Рассмотрим равенство (2) с учетом производной (9). При этом получим:

$$2\bar{r}_s^2\bar{c}^2 = -8\pi^2\bar{r}_s^2\omega_s^2\bar{r}_{0,L}^2, \quad (11)$$

где $\bar{v}_s^2 = 4\pi^2\bar{r}_s^2\omega_s^2$. Соответственно знак минус в равенстве (11) говорит о переходе параметров ядра в мнимое пространство.

Преобразуем равенство (11), используя переход параметра \bar{r}_s (2) в соотношение вида (8) $\bar{r}_s \rightarrow -j\bar{r}_{0,L}(1-\psi)$ на скорости $\bar{v}_s = -\bar{c}\sqrt{2} + \Delta_3\bar{c}$. При этом:

$$\left[-j\bar{r}_{0,L}(1-\psi)\right]^2 = -\frac{2(-\bar{c}\sqrt{2} + \Delta_3\bar{c})^2\bar{r}_{0,L}^2}{2c^2} \left[\beta(\Delta_3\bar{c})\right]^2.$$

Извлекая квадратный корень из данного соотношения, а также, используя знак плюс в поправке Лоренца для скорости $\bar{v}_s = -\bar{c}\sqrt{2} + \Delta_3\bar{c}$, получаем межпространственный переход:

$$-j\bar{r}_{0,L}(1-\psi) \Rightarrow j\left(-\sqrt{2} + \frac{\Delta_3\bar{c}}{\bar{c}}\right)\beta(\Delta_3\bar{c})\bar{r}_{0,L}.$$

Отсюда следует:

$$-j\bar{r}_{0,L}(1-\psi) \Rightarrow \left(\sqrt{2} - \frac{\Delta_3\bar{c}}{\bar{c}}\right)(1-\psi)\bar{r}_{0,L}. \quad (12)$$

Соотношение (12) не может рассматриваться как чисто математическое равенство. Полученная функциональная зависимость является физической интерпретацией пространств, преобразование которых соответствует перемещению плазменного электрона с бесконечно малого радиуса $-j\bar{r}_{0,L}$ мнимого пространства, в соответствии с (10), на радиус $\bar{r}_{0,L}\sqrt{2}$ Re -пространства. Теорема доказана.

Интегрирование соотношения для радиуса ядра

Исследуем теперь процесс изменения радиуса ядра с учетом изменения скорости \bar{v}_s . При этом для параметра $\bar{v}_s = -\bar{c} - \Delta_2\bar{c}$, из (2) имеем:

$$\bar{r}_{s,c} = -\bar{r}_{0,L}\sqrt{1 - \frac{(-c - \Delta_2c)^2}{c^2}}$$

или

$$-j\bar{r}_{s,c} = -\bar{r}_{0,L}\sqrt{\frac{2\Delta_2\bar{c}}{\bar{c}}} \left[\beta_s(\Delta_2\bar{c})\right].$$

Соответственно на скорости $\bar{v}_s = -\bar{c}\sqrt{2} + \Delta_3\bar{c}$ получаем:

$$\bar{r}_{s,c} = -\bar{r}_{0,L}\sqrt{1 - \frac{(-\bar{c}\sqrt{2} + \Delta_3\bar{c})^2}{c^2}} = -j\bar{r}_{0,L}\sqrt{1-\psi},$$

$$-j\bar{r}_{s,c} = -\bar{r}_{0,L}\sqrt{1-\psi} \cdot \left[\beta(\Delta_3\bar{c})\right] = -j\bar{r}_{0,L}(1-\psi).$$

Отсюда следует: $j\bar{r}_{s,c} \Rightarrow -j\bar{r}_{0,L}(1-\psi)$.

Далее, исследование ядра водородоподобного атома и его пространств на основе соотношения (2) может быть выполнено с помощью интегральных преобразований. При этом может быть доказана следующая теорема.

Теорема 2. Пространство радиуса ядра \vec{r}_s на скорости вращения $\vec{v}_s = -\vec{c} - \Delta_2 \vec{c}$ преобразуется в мнимое ортогональное пространство $-j\vec{r}_{s,c}$ шестого измерения, преобразуемое в пространство $-j\vec{r}_{0,L}\sqrt{1-\psi}$ и далее в пространство $\frac{\vec{r}_s}{\sqrt{2}}$ на скорости $\vec{v}_s = -\vec{c}\sqrt{2} + \Delta_3 \vec{c}$.

Доказательство. Для достижения поставленной цели необходимо представить равенство (2) с учетом приращения скорости $\Delta\vec{v}_s$ (считаем, что скорость возрастает в связи с притоком кванта внешней энергии) и соответствующего изменения радиуса ядра $\Delta\vec{r}_s$:

$$\vec{r}_s - \Delta\vec{r}_s = \vec{r}_{0,L} \sqrt{1 - \frac{(\vec{v}_s + \Delta\vec{v}_s)^2}{c^2}}.$$

Отсюда, после ряда преобразований, имеем приближенное равенство:

$$\Delta\vec{r}_s^2 = -\frac{2\vec{r}_{0,L}^2}{c^2} \vec{v}_s \Delta\vec{v}_s.$$

При $\Delta\vec{v}_s \rightarrow 0$ получаем интеграл:

$$\vec{r}_s^2 = -\frac{2\vec{r}_{0,L}^2}{c^2} \int \vec{v}_s d\vec{v}_s = -\frac{\vec{v}_s^2}{c^2} \vec{r}_{0,L}^2.$$

Из данного соотношения следует:

$$\vec{v}_s = -j \frac{\vec{r}_s}{-\vec{r}_{0,L}} \vec{c}. \quad (13)$$

Используем поправку Лоренца для скорости $\vec{v}_s = -\vec{c}\sqrt{2} + \Delta_3 \vec{c}$ в (13). При этом получаем:

$$\vec{v}_s = -j \frac{c}{-\vec{r}_{0,L}} \frac{\vec{r}_s}{\beta^2(\Delta_3 c)},$$

где $\beta(\Delta_3 \vec{c}) = j\sqrt{1-\psi}$.

Из полученного соотношения имеем:

$$-\vec{c}\sqrt{2} + \Delta_3 \vec{c} = -j \frac{\vec{r}_s c}{-j\vec{r}_{0,L}\sqrt{1-\psi} \cdot \beta(\Delta_3 c)}$$

или

$$-j\vec{r}_{0,L}\sqrt{1-\psi} = j \frac{\vec{r}_s c}{(\vec{c}\sqrt{2} - \Delta_3 \vec{c}) \beta(\Delta_3 c)}.$$

Из данного равенства имеем физическое преобразование вида:

$$-j\vec{r}_{0,L}\sqrt{1-\psi} \Rightarrow \left(\frac{\vec{r}_s}{\sqrt{2} - \frac{\Delta_3 \vec{c}}{c}} \right) \approx \frac{\vec{r}_s}{\sqrt{2}}. \quad (14)$$

Таким образом, радиус \vec{r}_s на релятивистских скоростях движения материи является пространством перетекания плазмы ядра из пространства Re в мнимое пространство $-Im$ с возвратом в пространство радиуса $\frac{\vec{r}_s}{\sqrt{2}}$ (14) через точку (10). Теорема доказана.

Заклучение

Полученные аналитические соотношения могут успешно применяться для компьютерного исследования пространственного взаимодействия электрона и ядра водородоподобных атомов. Рассмотренная в работе модель, определяет нулевой радиус (в частности, борковский) как лоренцево расширение радиуса ядра. Это позволяет установить связь пространств в виде соотношений (12) и (14) с учетом комплексного представления значений параметров.

Использование в работе дифференциальных и интегральных преобразований доказало существование точек перетекания материи из пространства Re в пространство $-Im$ и наоборот. В частности, соотношения (6)-(7) позволяют заключить, что плазма электрона с внутреннего радиуса ядра на скорости $\vec{v}_{s,c} \approx \vec{c}$ перетекает в мнимое ортогональное пространство радиуса $-j\vec{r}_{0,L}$, образуя сферу со скоростью движения плазмы близкой к (10).

Ядро атома, взаимодействуя с релятивистскими пространствами струн, перетекает на уровень сферы $-j\vec{r}_{s,c}$ и далее с учетом кванта энергии внешнего пространства на уровень радиуса $-j\vec{r}_{0,L}(1-\psi)$. Данное пространство является пространством перетекания $-j$ пространственной релятивистской плазмы ядра в третье измерение на радиус $\frac{\vec{r}_s}{\sqrt{2}}$.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании квантово-электронных каналов связи с высокой защищенностью от помех, порождаемых внутриатомными факторами носителей.

SYNTHESIS OF NOISE-RESISTANT COMMUNICATION CHANNELS WITH USING DIFFERENTIAL AND INTEGRAL TRANSFORMATION OF HYDROGEN-LIKE ATOMS

I.P. KOBYAK

Abstract. To solve the problems of synthesis of secure quantum cryptographic communication channels, a model of the formation of a hydrogen-like atom as a Lorentz expansion of the atomic nucleus is considered. The relations obtained on the basis of differential and integral transformations made it possible to determine the internal movements of the electron and the nucleus in the spaces of the atom, taking into account the transitions of matter in complex spaces. The results of the calculations allowed us to form a new view of the sources of interference in quantum communication lines, which makes it possible to avoid errors in the channel design process or to correct data transmission systems.

Keywords: quantum communication systems, hydrogen atom, complex space, Lorentz factor, speed of light, string energy.

Список литературы

1. Кобяк И.П. Основы теории атома водорода для задач синтеза квантово-электронных схем // Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС и ТЭС : Материалы II Международной науч.-техн.конф. (Республика Беларусь, Минск, 27-28 апреля 2021 г.). Минск.: БГУИР, 2021. С. 207-212.
2. Кобяк И. П. Основы теории атома водорода для задач синтеза квантово-электронных схем // Доклады БГУИР. 2022. Т. 20, № 1. С.31–39.
3. Соколов А.А., Тернов И.М. Квантовая механика и атомная физика. М.: Просвещение, 1970.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГРАДИЕНТНОЙ ВОЛНОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.В. РАБЦЕВИЧ, В.Ю. ЦВЕТКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 1 апреля 2024

Аннотация. Исследована эффективность алгоритма автоматической сегментации изображений, полученных с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ), основанного на квазипараллельном выращивании областей вокруг локальных максимумов. Алгоритм использует оценку изменения второй производной от яркости внутри области для присоединения к ней соседних пикселей. Произведено сравнение данного алгоритма с известными алгоритмами сегментации, разработанными для анализа АСМ-изображений, по количеству сегментов. Показано, что данный алгоритм способен определить границы объектов лучше, чем известные алгоритмы.

Ключевые слова: АСМ, поиск локальных максимумов, сегментация, градиент, ускорение.

Введение

При анализе неорганических наноструктур, полученных с помощью АСМ или сканирующей-зондовой микроскопии (СЗМ) используются алгоритмы сегментации, разработанные для выделения объектов на подложке в зависимости от их расположения относительно друг друга: группа объектов, расположенных на поверхности слитно (связанные структуры); отдельно расположенные объекты (несвязанные структуры); объекты со сложным расположением (смешанные структуры).

В общем случае, все алгоритмы сегментации можно разделить на три категории: без поиска начальных точек роста (пороговые алгоритмы сегментации, классический алгоритм выращивания областей, алгоритм слияния-расщепления, водораздел и т.д.); с поиском начальных точек роста с помощью предварительного анализа изображения (выращивание областей от начальных точек роста, маркерный алгоритм водораздела и т.д.); алгоритмы, которые используют ручное указание оператором начальных точек роста для областей. Достаточно высокую точность определения границ объектов показывают алгоритмы, осуществляющие сегментацию под контролем оператора, но они требуют предварительной подготовки изображений. Поэтому актуальной является разработка алгоритмов автоматической сегментации АСМ-изображений, не уступающих в точности определения границ объектов известным алгоритмам сегментации под контролем оператора. К алгоритмам автоматической сегментации АСМ-изображений относятся рассмотренные в [1–3] квазипараллельные алгоритмы.

Цель работы: оценка эффективности алгоритмов автоматической сегментации АСМ-изображений.

Алгоритм автоматической сегментации АСМ-изображений

На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма GWGA (Gradient Wave Growing Areas) автоматической сегментации АСМ-изображений, основанного на квазипараллельном выращивании областей вокруг локальных максимумов. Алгоритм использует оценку изменения второй производной от яркости внутри области для присоединения к ней соседних пикселей, аналогичен по структуре алгоритму волнового выращивания областей алгоритма [1] и является модификацией алгоритма [2].



Рис.1. Блок схема алгоритма GWGA

Алгоритм GWGA производит квазипараллельное выращивание областей вокруг начальных точек роста, в пределах одного уровня яркости. Для каждого пикселя в сегменте отслеживается ускорение изменения яркости, при изменении которого пиксели помещаются в особую область, которая рассматривается как фон и разрастается параллельно остальным областям. Эта особенность алгоритма, увеличивает количество сегментов на один.

Оценка эффективности алгоритмов сегментации АСМ-изображений

Алгоритм GWGA сравнивался с известными алгоритмами сегментации: волнового выращивания областей локальных максимумов с их выбором в порядке убывания значений AWS (AWS-M) [1]; маркерного водораздела с автоматической расстановкой маркеров (MWA-M) [4]; водораздела на основе расстояний (MWD-M) [4]; выращивания областей без выбора начальных точек (RG-M) [5]; выращивания областей с выбором начальных точек на основе экстремумов (SRG-M) [6]; водораздела по классическому алгоритму Винсента-Солли (VSC-G) [7]; двухфазного водораздела (TPW-G) [1]. Для сравнения использовались реализации алгоритмов в среде Matlab (M) и пакете Gwyddion (G).

При оценке эффективности алгоритмов использованы тестовые АСМ-изображения поверхностей трех типов, синтезированные в Matlab: тип 1 – без размытия; типы 2 и 3 – с размытием (табл. 1). Оценка качества работы алгоритмов проводилась на основе средних (AD), максимальных (MaxDV) и минимальных (MinDV) значений разниц, стандартного отклонения (SD) для истинного числа сегментов (табл. 2).

Табл.1. Количество элементов на тестовых изображениях

Несвязная структура		Связная структура	
Тестовые изображения	Количество элементов	Тестовые изображения	Количество элементов
АСМ М1-1 – АСМ М1-20	9	АСМ М2-1 – АСМ М2-20	9
АСМ М1-21 – АСМ М1-50	18	АСМ М2-21 – АСМ М2-50	18
АСМ М1-51 – АСМ М1-70	100	АСМ М2-51 – АСМ М2-70	100
АСМ М1-71 – АСМ М1-80	221	АСМ М2-71 – АСМ М2-80	221
АСМ М1-81 – АСМ М1-90	200	АСМ М2-81 – АСМ М2-90	200

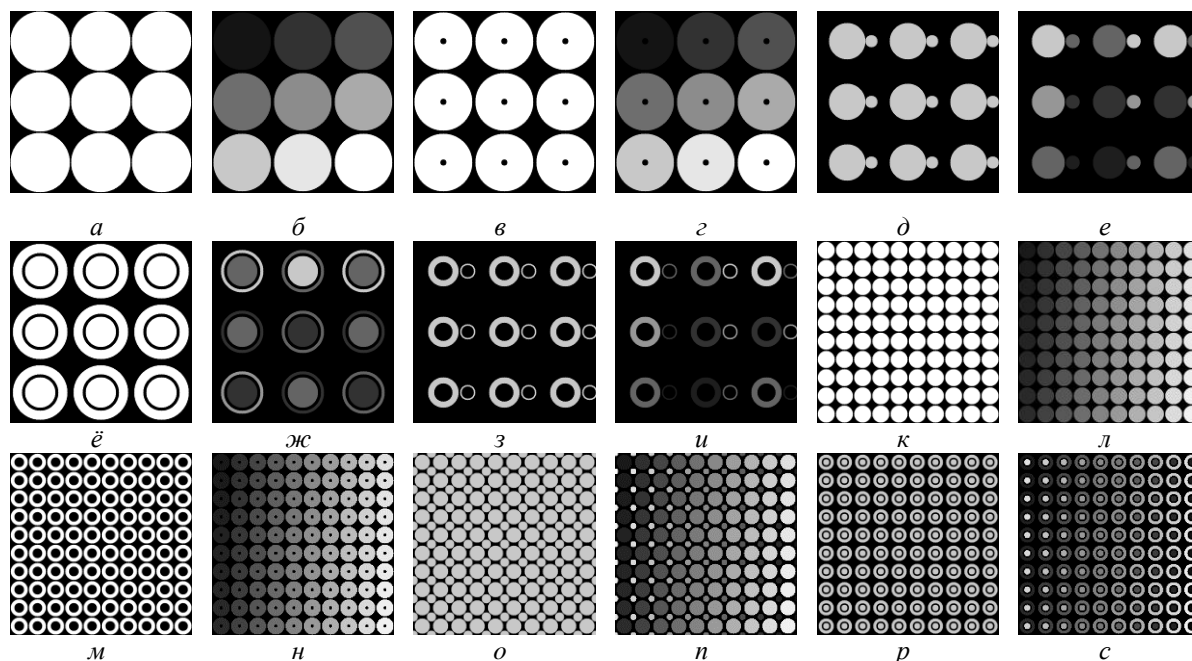


Рис.2. Тестовые полутоновые изображения несвязанных и связанных структур: а-г – 9 объектов; д-и – 18 объектов; к-н – 100 объектов; о-с – 220 объектов;

Табл. 2. Значения показателей качества сегментации на основе количества сегментов для тестовых АСМ-изображений несвязанных структур

Изображения	Показатель качества	Алгоритмы сегментации							
		GWGA	AWS-M	RG-M	MWA-M	MWD-M	SRG-M	TPW-G	VSC-G
Тип 1 (54 изображения)	AD	0,11	0,00	27,33	61,61	591,50	0,00	67,78	1,61
	MaxDV	1,00	0,00	101,00	219,00	2700	0,00	221,00	10
	MinDV	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
	SD	0,32	0,00	39,79	78,34	757,625	0,00	77,76	2,06
Тип 2 (54 изображения)	AD	0,62	0,61	23147,72	60,83	585,83	0,61	57,56	1,11
	MaxDV	9,00	9,00	51701	219,00	3100,00	9,00	241,00	2,00
	MinDV	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
	SD	2,12	2,12	166882,05	78,91	802,8876	2,06	86,39	0,32
Тип 3 (54 изображения)	AD	4,27	10,94	48294,06	55,22	561,06	6,94	67,61	8,89
	MaxDV	58,00	93,00	109201	199,00	2320,00	57,00	260,00	99,00
	MinDV	0,00	0,00	283,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
	SD	13,29	29,08	34723,59	68,12	700,40	17,82	90,83	23,86
Среднее значение AD по типам		1,67	3,85	23823,04	59,22	579,46	2,52	64,15	3,87

Из табл. 2 следует, что на АСМ-изображениях трех типов минимальное отклонение SD показывают алгоритмы GWGA, AWS, SRG-M и VSC-G. Алгоритм GWGA показывает результат в 2 раз лучше, чем AWS-M и VSC-G (несмотря на то, что VSC-G выполняется под контролем оператора), и в 1,5 раза лучше по сравнению с SRG-M, который требует предварительного определения начальных точек роста. Алгоритм RG-M приводит к значительной пересегментации.

ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF GRADIENT WAVE SEGMENTATION OF AFM-IMAGES

V. V. RABTSEVICH, V. Yu. TSVIATKOU

Abstract. The effectiveness of an algorithm for automatic segmentation of images obtained using atomic force microscopy (AFM), based on quasi-parallel growing of regions around local maxima, has been studied. The algorithm uses an estimate of the change in the second derivative of brightness within an area to attach neighboring pixels to it. This algorithm was compared with known segmentation algorithms developed for analyzing AFM images by the number of segments. It is shown that the developed algorithm is able to determine the boundaries of objects better than known algorithms.

Keywords: AFM, search for local maxima, segmentation, gradient, acceleration.

Список литературы

1. Рабцевич, В. В. Уровневые модели и волновые алгоритмы сегментации АСМ-изображений / В. В. Рабцевич, В. Ю. Цветков // Технологии передачи и обработки информации : материалы международного научно-технического семинара. – Минск, БГУИР, 2022. – С. 50–56.
2. Рабцевич, В. В. Градиентно-волновое выращивание областей АСМ-изображений / В. В. Рабцевич, В. Ю. Цветков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы международного научно-технического семинара. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 58–63.
3. Рабцевич, В. В. Оценка эффективности алгоритмов сегментации АСМ-изображений / В. В. Рабцевич, В. Ю. Цветков // Доклады БГУИР. – Минск: БГУИР, 52 2022. – Т. 20, № 6. – С. 61-69.
4. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. Third Edition. 2008: 798-800
5. Pratt W.K. Digital Image Processing. Third Edition. 2001:562-566
6. Fan M., Lee T. Variants of seeded region growing. Image Processing IET. 2015;9(6):478-485.
7. Vincent L., Soille P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1991;13:583-598.

АНАЛИЗ СОБЫТИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SSH-ХАНИПОТА COWRIE

С.Н. ПЕТРОВ¹, В.Н. РОМАНОВИЧ², А.А. СЕРГАНОВСКИЙ²

1 – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

2 – Национальный детский технопарк, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 5 апреля 2024

Аннотация. Выполнено развертывание мультиханипота T-Pot на виртуальных серверах Amazon EC2 (AWS) в трех географических регионах. Выполнен анализ IP-адресов потенциальных нарушителей, взаимодействовавших с SSH-ханипотом Cowrie. Выполнен анализ логинов (имен пользователей) и паролей, использованных для подключения к ханипоту, а также команд, которые пытались выполнить нарушители. Показано, что ханипоты до сих пор могут использоваться в качестве эффективного инструмента для анализа поведения нарушителей и выявления векторов атак.

Ключевые слова: сетевые атаки, сетевая безопасность, ханипоты, Cowrie.

Введение

Сетевые атаки включают в себя различные методы, используемые нарушителями для получения несанкционированного доступа к компьютерным системам и сетям. Одной из форм сетевой атаки является сетевая разведка, процесс, при котором нарушители собирают информацию о целевой сети или системе, чтобы идентифицировать уязвимости, которые могут быть использованы для дальнейших атак. База знаний MITRE D3FEND [1] содержит описание различных вариантов противодействия техникам нарушителей. Так, один из вариантов называется Deceive, что можно перевести как обман, хитрость. Среда, которая включает в себя сервера и подключения, предназначенные для обмана нарушителя, называется Decoy Environment (обманная среда). Decoy Object (объекты-обманки) представляет собой фиктивный объект или ресурс, который создается с целью привлечения нарушителей, отвлечения их внимания от ценной информации, и обеспечить анализ и мониторинг атак. В среде специалистов по кибербезопасности такие объекты называют ханипотами (honeypot), которые представляют собой поддельные и умышленно уязвимые объекты, которые могут заинтересовать нарушителей [2]. При эксплуатации ханипотов действия нарушителя записываются и анализируются. Это позволяет получить информацию о возможных угрозах, векторах атаки и принять меры для их предотвращения. Ниже рассмотрены результаты ханипота Cowrie в составе мультиханипота T-Pot, который фиксирует попытки установления SSH- или telnet-соединений.

Практическая часть

Для сбора информации T-Pot [3] был развернут в облачном сервисе AWS, позволяющем развертывать приложения и хранить данные в облаке, обеспечивая доступ к высокопроизводительным ресурсам и инфраструктуре для клиентов. Использовалась служба Amazon EC2 для аренды виртуальных выделенных серверов (instance). Всего было развернуто 3 экземпляра типа t2.large в течении 14 дней в географических регионах Северная Вирджиния, Сеул и Франкфурт.

Ханипот Cowrie показал один из наиболее высоких результатов (примерно 30000 попыток подключений во всех регионах суммарно). Ниже представлены результаты по региону Азия

(Сеул). На рис. 1 показана статистика десяти наиболее активных стран по числу попыток установить соединение, а также общая география атак.

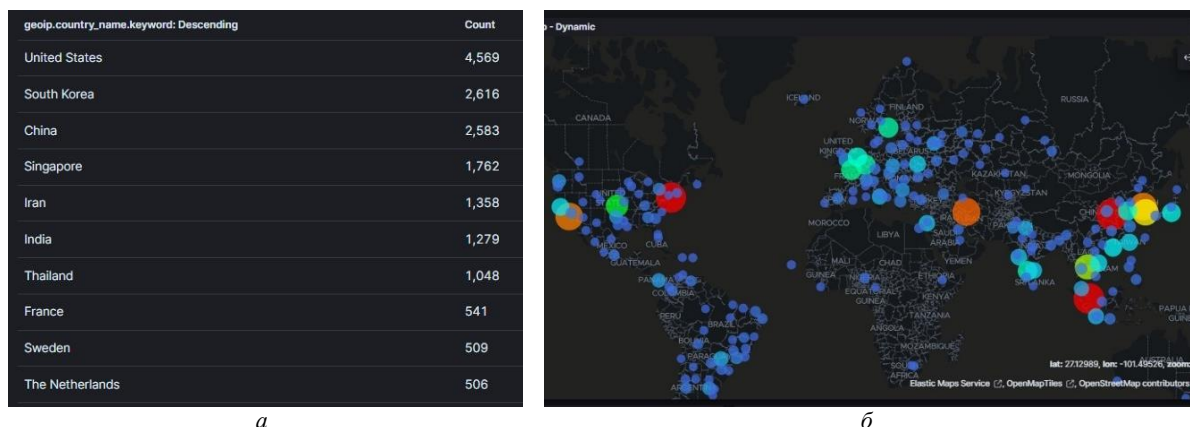


Рис.1 Карта атак, по данным собранным с ханипота Cowrie в Сеуле: *a* – статистика десяти наиболее активных стран по числу попыток установить соединение; *b* – общая география атак

Трафик по протоколу telnet в 2 раза превышал трафик по протоколу SSH. Десять наиболее часто используемых IP-адреса, с которых осуществлялись попытки подключений показаны на рис. 2.

Source IP	Count
110.78.138.200	1,001
218.200.189.88	956
5.234.170.153	915
142.93.76.208	778
43.156.128.13	459
120.224.174.135	420
2.183.102.137	415
51.75.127.207	400
45.95.147.174	329
54.234.73.133	308

Рис. 2 Десять наиболее активных IP-адресов

Анализируя IP-адреса при помощи сервиса VirusTotal, установили, что IP-адрес 180.214.176.3 имел отношение к вредоносному ПО Mirony, который является поддельным файловым установщиком. IP-адрес 37.139.249.103 имеет плохую репутацию и признан источником большого количества спама, расположен в России. Следующими аномалиями стали IP-адреса, с которых зафиксирована попытка использования команды «cat /bin/echo | | while read i; do echo \$i; done < /proc/self/exe» (7 адресов). Данная команда последовательно считывает содержимое файлов, указанных в параметре Файл, и записывает его в стандартный поток вывода.

При анализе остальных IP-адресов были отмечены адреса 121.186.46.238 и 210.165.104.204, первый из которых используется поддельным установщиком утилиты qBittorrent, а со второго распространяется вредоносное ПО.

Cowrie собирает и логины и пароли, используемые потенциальными нарушителями при попытках подключения по telnet или SSH. Наиболее часто используемые логины (слева) и пароли (справа) представлены на рис. 3.

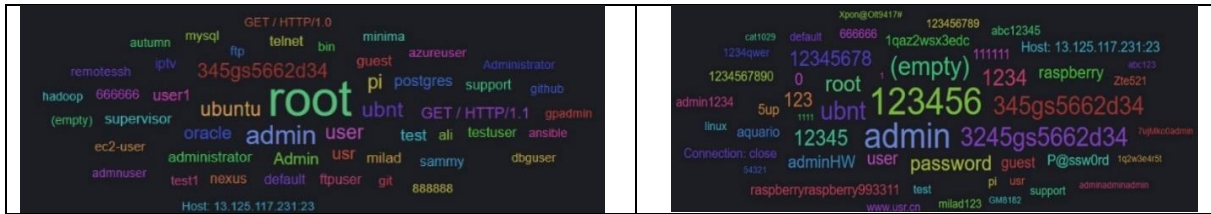


Рис. 3 Логины и пароли, собранные ханипотом Cowrie

Наиболее популярными логинами являлись: root, admin, ubnt. Среди паролей пользовались популярностью такие пароли как: admin, ubnt, 123456. В целом, среди наиболее популярных паролей зафиксированы, пароли из распространенных словарей для брутфорса. Отдельный интерес представляют пароли или логины в виде HTTP запросов, типа GET. В таких случаях речь идет об SQL инъекциях (атака, которая позволяет использовать фрагмент вредоносного кода на языке SQL для манипулирования базой данных и получения доступа к потенциально ценной информации). Использование имени пользователя «pi» и паролями «raspberrypi» и «raspberrypiraspberry993311» говорит о том, что нарушитель использовал вредоносную программу Poison Dwarf (CPUMiner). Были зарегистрированы попытки выполнения нарушителями команд, десятка наиболее используемых представлена на рис. 4.

Command Line Input	Count
shell	158
while read i	121
system	114
enable	78
sh	75
uname -a	63
cat /proc/cpuinfo grep model grep name wc -l	54
cat /proc/cpuinfo grep name head -n 1 awk '{print \$4,\$5,\$6,\$7,\$8,\$9;}'	54
cat /proc/cpuinfo grep name wc -l	54
cd ~; chattr -ia .ssh; lockr -ia .ssh	54

Рис. 4 Команды, собранные ханипотом Cowrie

Команда «shell» в различных операционных системах запускает командный интерпретатор, который позволяет пользователю вводить команды и выполнять их в рамках этой оболочки. Команда «system» в UNIX Shell выполняет внешнюю команду или программу, переданную в качестве аргумента. Она принимает один или несколько аргументов, которые затем передаются системной функции «exec» для выполнения. Эта команда обычно используется для запуска других программ или утилит из сценария UNIX Shell. Команда «kill %1» в некоторых операционных системах используется для закрытия процесса с идентификатором, записанным в виде символа процента (%1) в командной строке.

Результаты для региона Северная Вирджиния и Франкфурт во многом схожи. Для региона Северная Вирджиния Cowrie зафиксировал 12794 атаки, которые использовали telnet и SSH уязвимости в равном соотношении. Большинство атак исходило из США, Индонезии и Китая. Был произведен анализ списка 10 самых частых IP-адресов нарушителей (рис. 5).

Проанализировав три самых популярных IP адреса в этом списке, поскольку количество их атак значительно превышает количество атак с остальных IP. 103.144.38.42, 97.74.91.196, 124.230.124.250. По данным VirusTotal все три адреса имеют плохую репутацию и признаны источниками большого количества спама.

Наиболее используемыми логинами стали: root 787 раз, admin 171 раз, test 86 раз. А наиболее используемыми паролями стали: 123456 - 168, root - 58, admin - 57.

Для локации Франкфурт самыми популярными логинами являются: root - 300, admin - 256, user - 31. Самыми популярными паролями являются: 123456 - 34, password - 33, admin - 28. Самой

популярной связкой логина и пароля является: root/admin - 19. В ходе анализа популярных команд, введенных нарушителям самыми часто используемыми, являются: shell - 156, system - 154, enable - 78.

Source IP	Count
103.144.38.42	3140
97.74.91.196	654
124.230.124.250	619
170.64.169.161	411
5.237.234.238	392
36.139.63.59	285
149.56.117.144	213
185.200.244.137	210
201.20.56.106	163
24.223.97.5	150

Рис. 5 Список 10 наиболее популярных IP-адресов (Северная Вирджиния)

Заключение

Выполнено развертывание T-Pot на виртуальных серверах Amazon EC2 (AWS) в трех географических регионах. В каждом регионе T-Pot фиксировал сотни тысяч различных событий, фактов взаимодействия с ханипотами. Выполнен анализ IP-адресов потенциальных нарушителей, взаимодействовавших с Cowrie. Выполнен анализ логинов (имен пользователей) и паролей, использованных для подключения к ханипоту, а также команд, которые пытались выполнить нарушители. Наиболее распространенные связки логин плюс пароль берутся из словарей для брутфорса. Часто, они входят в «топ 10 худших паролей». Другой популярный вариант – ввод использование SQL-запросов в поле логина и пароля, для выполнения на сервере произвольных команд (SQL-инъекция). Показано, что ханипоты до сих пор могут использоваться в качестве эффективного инструмента для анализа поведения нарушителей и выявления векторов атак. Однако в силу того, что потенциальные нарушители могут обнаруживать и идентифицировать ханипоты, более перспективным решением являются решения класса Distributed Deception Platform.

ANALYSIS OF INFORMATION SECURITY EVENTS USING COWRIE SSH HONEYPOT

S.N PETROV, V.N. ROMANOVICH, A.A. SERGANOVSKY

Abstract. The T-Pot has been deployed on Amazon EC2 (AWS) virtual servers in three geographical regions. The analysis of the IP addresses of potential intruders who interacted with the Cowrie SSH honeypot was performed. The analysis of logins (usernames) and passwords used to connect to the honeypot, as well as commands that the violators tried to execute, was performed. It is shown that honeypots can still be used as an effective tool for analyzing the behavior of violators and identifying attack vectors.

Keywords: network attacks, network security, honeypots, Cowrie.

Список литературы

1. D3FEND Matrix | MITRE D3FEND [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://d3fend.mitre.org> Дата доступа: 05.04.2024
2. Пуятю М. М., Макарян А. С., Чич Ш. М., Маркова В. К. Исследование применения технологии Deception для предотвращения угроз кибербезопасности // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – №4 (52). – С. 85-98
3. T-Pot – The All In One Multi Honeypot Platform [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/telekom-security/tpotce?ysclid=lrzaidhujg725907509> Дата доступа: 05.04.2024

IMAGE COMPRESSION METHOD BASED ON WAVELET TRANSFORM

P. ZENG, Y. WANG, Z.J. WEI, V.YU. TSVETKOV

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus**Received March 27, 2024*

Abstract. In many algorithms for image compression, the SPIHT and SPECK algorithms based on wavelet transform have good performance. This article introduces the basic principles of wavelet transform, and implements the SPHIT and SPECK image compression algorithms based on wavelet transform. Besides, the two algorithms are compared, and experimental results and experimental conclusions are given in conclusion.

Keywords: wavelet, image compression, SPECK, SPIHT

Introduction

The main problem solved by image compression is to minimize the amount of data used to represent image information. Some kind of transformation is usually used to remove redundant information in the image to achieve the purpose of compression. Image transformation for image compression concentrates the energy of the image in the transformation domain. It means that a large amount of information is concentrated on a small number of coefficients, while other data is very small or almost zero. When the data is compressed and encoded, the data can be compressed more effectively, which is very important for the efficient storage and transmission of images significance. At present, the common transformations used for image compression mainly include K-L exchange, Fourier transform, discrete cosine transform (DCT), wavelet transform, and geometric multi-scale analysis that have appeared in recent years [1].

Wavelet transform is a signal processing technique that decomposes the original signal into multiple sub bands, each sub band containing information in a different frequency range. It has good scale invariance and local adaptability, can perform good sparse representation of irregular area images, and has a complete theoretical system to restore the original image from sparse coefficients, and has developed rapidly in the field of image processing.

To improve the shortcomings of poor reconstruction quality of wavelet compressed images, this paper uses spectrogram wavelet transform to decompose the Set Partitioning in Hierarchical Trees (SPIHT) and Set Partitioned Embedded Block (SPECK) algorithm. In the lab, the results shown that SPECK algorithm has higher encoding speed and it is one of the better-performing embedded image coding algorithms. This algorithm achieves good compression effects after compressing and encoding classic images, and has a high compression ratio and peak signal-to-noise ratio.

Classic Wavelet Transform

For a long time, image compression coding has used discrete cosine transform (DCT) as the main transformation technology, and has been successfully applied to various standards, such as JPEG, MPEG. However, in DCT-based image transformation coding, people divide the image into blocks of 88 pixels or 1616 pixels for processing, which is prone to block effects and mosquito noise.

Wavelet transform is a global transform with good local optimization performance in both time domain and frequency domain. Wavelet transform encodes the transform coefficients of image pixel decorrelation, which is more efficient than classical encoding and has almost no distortion. It is easy to consider human visual characteristics in applications, thus becoming one of the main technologies for

image compression and coding. Wavelet transform can achieve better time resolution in the high-frequency part of the signal: better frequency resolution can be achieved in the low-frequency part of the signal, thereby effectively extracting information from signals (such as speech, images, etc.) to achieve Data compression purposes [2]. The figure below is a block diagram of the wavelet encoding and decoding system.

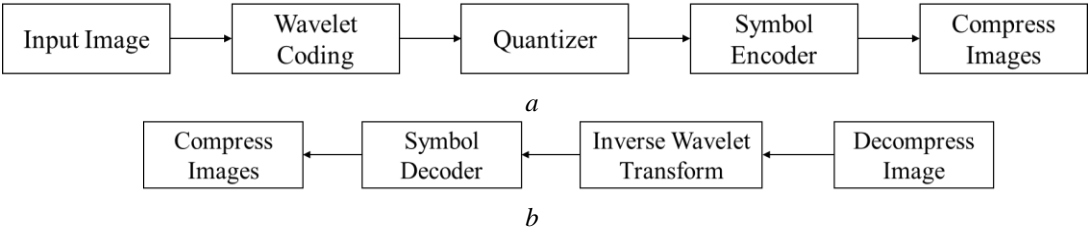


Figure 1. Block diagram of the wavelet encoding and decoding system: *a* – encoder; *b* – decoder;

The basic steps of image compression based on wavelet transform are as follows, and Figure 2 shows the wavelet transform decomposition steps taking the ‘Lena’ image as an example.

1. Use wavelet to decompose the image layer and extract the low-frequency and high-frequency coefficients in the decomposition structure.
2. Reconstruction of each frequency component.
3. Compress the first layer of low-frequency information.
4. Compress the second layer of low-frequency information.

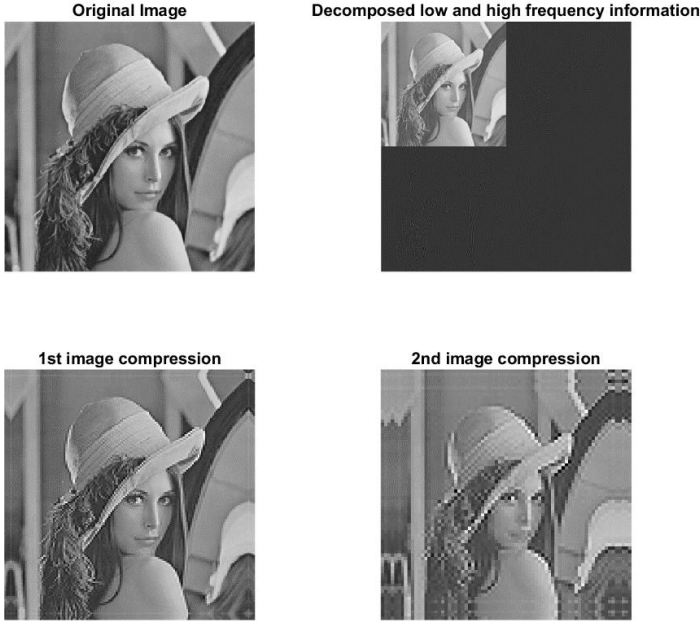


Figure 2. An example process of Wavelet compression

SPIHT Algorithm

After completing the spectral wavelet transform of the image, multiple one-dimensional wavelet coefficient vectors are obtained.

The main idea of the SPIHT algorithm is to use a given threshold to compare each coefficient in the wavelet coefficient set. If the value is greater than the threshold, a binary number is output as a sign of the importance of the coefficient; this binary flag is the key to the image [3]. The code stream generated after encoding the coefficients. After all the wavelet transform coefficient values have been traversed, the threshold value is halved, and then the wavelet coefficient set is scanned, compared with the updated threshold value, and then the corresponding image compression code stream is output until the threshold value becomes 1. Figure 3 illustrate the wavelet principle of SPIHT transform, which is an image compression process based on wavelet blocks.

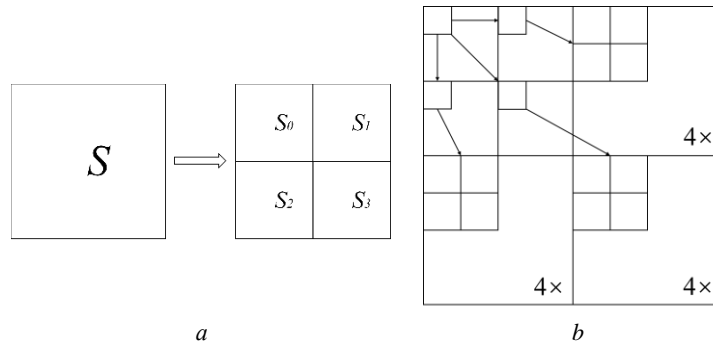


Figure 3. Representation of SPIHT: *a* – wavelet block of partitioning;
b – Tree-based organization in wavelet transform;

Here is an example of SPIHT algorithm based on wavelet. In Figure 4, wavelet ‘haar’ is used and the transform level is 4. PSNR stands for Peak Signal-to-Noise Ratio. In the process of using speck to process images, 9 iterations were carried out, the PSNR continued to increase, and the compression quality became better and better.

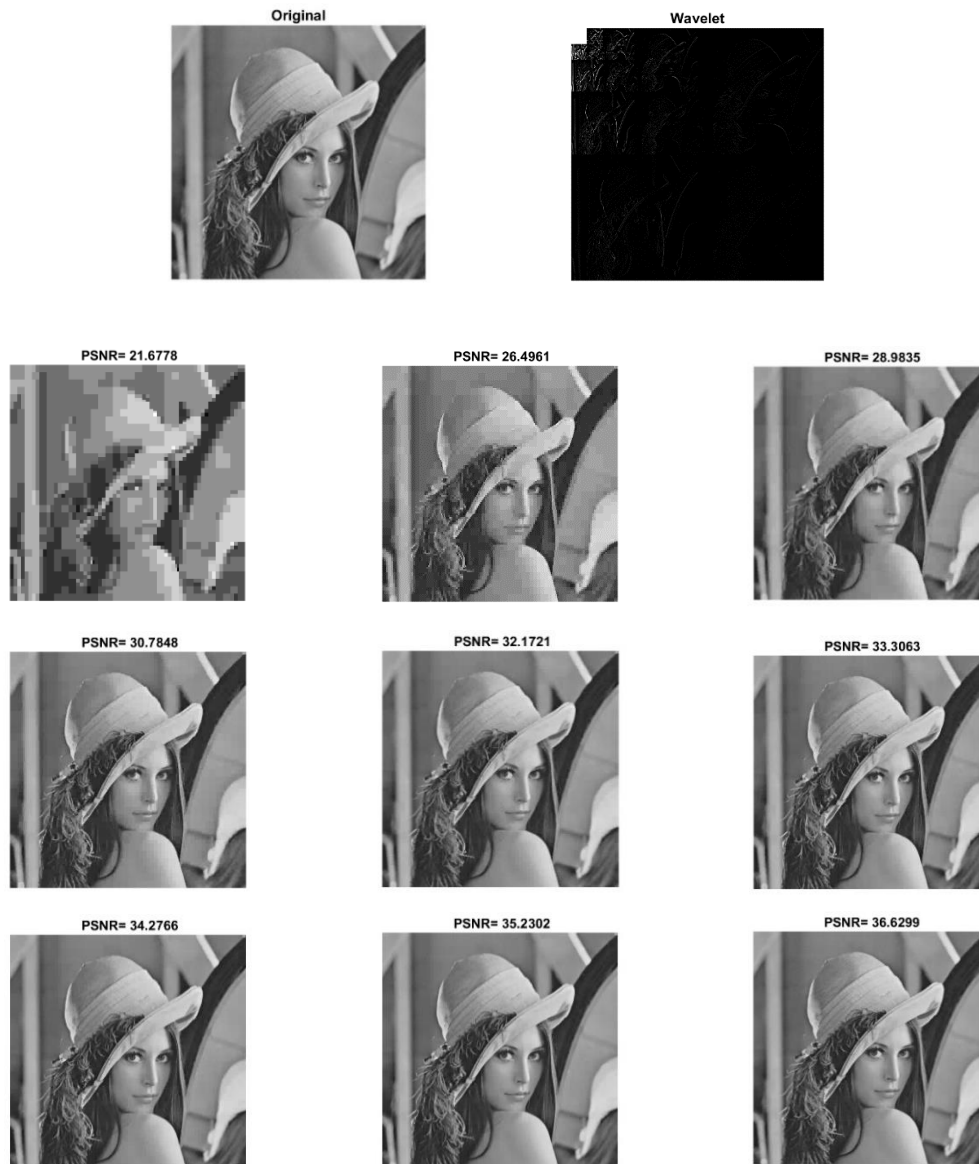


Figure 4. An example of SPIHT algorithm, level = 4, wavelet ‘haar’, 9 interaction times

To the set classification strategy of the SPIHT algorithm is relatively complex, three lists are needed to store the wavelet coefficients to be encoded and quantized, and the calculation amount is relatively complex, so the encoding speed will be reduced accordingly.

SPECK Algorithm

When the SPIHT algorithm performs image compression, it needs to be iterated many times, so there is an improved algorithm. Since there are many unimportant coefficients in the wavelet coefficients, which have the characteristics of energy aggregation and energy attenuation as the scale increases, based on block set division the ideological SPECK (Set Partition Embedded Block Code) algorithm is a coding algorithm for wavelet coefficients. This algorithm is one of the better performing embedded hierarchical image coding algorithms in recent times. In SPECK, the blocks are recursively and adaptively partitioned such that high energy areas are grouped together into small sets whereas low energy areas are grouped together in large sets.

Here is an example of SPECK algorithm based on wavelet. In Figure 5, wavelet ‘haar’ is used and the transform level is 4. PSNR stands for Peak Signal-to-Noise Ratio. In the process of using speck to process images, 4 iterations were carried out, the PSNR continued to increase, and the compression quality became better and better.



Figure 5. An example of SPECK algorithm, level = 4, wavelet ‘haar’, 3 interaction times

Compared with the SPIHT algorithm, this algorithm reduces the number of recursive calls of the function, which improves memory space utilization, so the complexity of the algorithm is reduced, and the operation rate increases accordingly.

Conclusion

This article introduces the basic principles of wavelet transform, and takes the 512pixel×512pixel×8bit standard image ‘Lena’ as an example to conduct a 4-level wavelet decomposition and reconstruction experiment, and conducts a 4-level wavelet decomposition and reconstruction experiment on the SPIHT algorithm, and in the same situation compare with the SPECK algorithm. Combining the above results, the following conclusions can be drawn:

1. Compared with the SPIHT algorithm, due to the reduced memory space of the SPECK encoding algorithm, the bit allocation is more reasonable and the classification strategy is more complete. Under the same compression ratio, the image restoration quality of this algorithm is better than that of the original SPIHT algorithm.

2. The SPECK algorithm is more efficient than SPIHT algorithm. It mainly reduces the complexity of the algorithm and allocates bits reasonably, so that under the same compression ratio, not only the reconstruction quality of the algorithm is better than that of the SPIHT algorithm, but also the operation rate is also higher than the before one.

References

1. Xiazhi X., Yongjie M., Guowei X. // Research of SPIHT and SPECK Compression Algorithms. Computer Technology and Development. 2011, Vol. 3
2. Yufeng Z., Jingquan C. // Wavelet transform and its application. PHYSICS, 2008. Vol. 1. P. 24-32
3. Pragya T., Mohd A., Kerhalkar S.G. // Transmission of Images Using SPECK. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. 2014. VOL. 14. P. 11.

**RESOURCE ALLOCATION SCHEME BASED ON GRAY WOLF OPTIMIZATION
ALGORITHM IN MOBILE EDGE COMPUTING**

LIU YU

*Henan University, The People's Republic of China**Received April 11, 2024*

Abstract. Aiming at the problem of server resource allocation in Mobile Edge Computing (*MEC*) task migration, considering the limitation and heterogeneity of server resources, a resource allocation model aiming at minimizing the system server energy consumption is constructed. And proposed a Dynamic Weighted Grey Wolf Optimization (*DWGWO*) algorithm to solve the optimal resource allocation scheme. The initialization, convergence factor and update strategy of Gray Wolf Optimization (*GWO*) algorithm are improved to improve the convergence performance of the algorithm and avoid the algorithm falling into local optimum. Simulation results show that *DWGWO* algorithm can find the optimal solution of resource allocation scheme quickly, reduce the energy consumption of server operation, and is superior to Random strategy, Genetic algorithm and *GWO* in convergence and stability.

Keywords: mobile edge computing, resource allocation, grey wolf optimizer, dynamic weight.

Introduction

Mobile Edge Computing (*MEC*) is a new type of wireless network architecture that deploys edge servers close to users to provide task migration services [1]. Due to the limited resources of edge servers, a reasonable resource allocation scheme is the key to improving task migration effectiveness and effectively reducing task execution delay and energy consumption [2-3].

Aiming at the resource allocation problem, Yu et al. proposed an optimization problem aiming at minimizing the execution delay of all mobile devices and the weighted sum of *UAV* energy consumption, and solved the problem based on an effective algorithm of continuous convex approximation [4]. In order to minimize energy consumption, You et al. transformed the server resource allocation problem into an optimal scheduling sequence problem, and conducted joint optimization of data partitioning and time division [5]. Mao et al. modeled the resource allocation problem under multiple users as a stochastic optimization problem and proposed an online algorithm to solve the problem [6]. In order to maximize the total revenue of the system, Kim et al. modeled the resource allocation problem as a single-leader - multi-user Stackelberg game model to achieve a balance between mobile users and server utility [7]. However, the above researches focus on optimizing the execution delay and energy consumption of task migration, and do not consider the heterogeneity of edge servers, such as the computing, storage and communication capabilities of *MEC*.

To solve the above problems, this paper first considers the heterogeneity of server resources, and constructs a server task migration resource allocation model. Then, the Dynamic Weighted Grey Wolf Optimization (*DWGWO*) algorithm is proposed to solve the optimal server resource allocation scheme, utilize the effective resources of the server effectively, and minimize the server energy consumption. *DWGWO* algorithm makes the following improvements to Grey Wolf Optimization (*GWO*) algorithm: Use Tent chaotic mapping initialization instead of random initialization to ensure the diversity of initial resource allocation schemes. And cosine change is used to replace the convergence factor of linear change. In the iterative updating process, the dynamic weight method is used to improve the linear convergence factor of *GWO* algorithm to change with the cosine of the number of iterations, so as to fit the trend of resource allocation scheme first global search and then fast convergence. In order to avoid

GWO algorithm falling into local optimal solution, dynamic update weights are set to increase the randomness of update.

Server resource allocation model

Each edge server provides services to each mobile device, and each mobile device has one and only one task. Edge servers are heterogeneous with different computing resources.

The base station collects the *MEC* system information (including the task information on the device side and the server resource information on the server side). In the case of limited server resources, considering the delay constraints of the task, the resource allocation scheme is optimized, and the server resources are reasonably allocated to users to complete the task.

Let $I = \{I_n | n=1, 2, \dots, N\}$ denotes the set of tasks in the *MEC* network. And $I_n = \{B_n, D_n, Z_n\}$, where I_n denotes the task of the mobile device n , B_n denotes the size of task, D_n denotes the amount of computation required to complete the task, and Z_n denotes the delay limit of the task. Let $E = \{E_m | m=1, 2, \dots, M\}$ denotes represent the set of edge servers, where server m is represented by $E_m = \{B_m, S_m, V_m, R_m, C_m\}$, B_m is the maximum communication bandwidth, S_m is the maximum storage space, V_m is the number of virtual machine included (representing the computing capacity of the server), R_m is the computing speed of the virtual machine, and C_m is the power consumption per unit of the virtual machine. The paper optimizes the resource allocation scheme to minimize the energy consumption of edge servers. The problem can be expressed as $C_{total} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N x_{nm} C_m t_{nm,p}^s$ indicates whether task I_n selects a server E_m . $x_{nm} = 1$ indicates that task I is executed on server E_m , $x_{nm} = 0$ indicates that no server E_m is selected. The task completion delay includes task upload delay $t_{nm,t}^s$, task calculation delay $t_{nm,p}^s$. Specific as follows $t_{nm,t}^s = \frac{B_n}{r_n}$, $t_{nm,p}^s = \frac{D_n}{R_{nm}}$, where r_n indicates the wireless channel upload rate, and R_{nm} indicates the computing speed of the server m selected by mobile device.

According to the above objective functions and constraints, this paper designs a resource allocation scheme based on dynamic weighted Gray Wolf Optimization (*DWGW*O). The Grey Wolf optimization algorithm (*GWO*) is applied to the design of resource allocation scheme, so that the optimal solution of resource allocation scheme can be found quickly and the energy consumption of server can be reduced.

Design of resource allocation scheme based on Dynamic Weight Grey Wolf Optimization

Grey Wolf Optimization (*GWO*) algorithm compares the solution space of the problem to the hunting space of wolves based on the hunting behavior of wolves [8]. Each wolf as a search individual to represent the search for target food, and the optimal solution required for optimization is the prey to be sought by wolves. It has the advantages of simple structure, few parameters to be adjusted, easy implementation, and good performance in terms of problem solving accuracy and convergence speed [9]. The *GWO* algorithm divides resource allocation schemes into four levels: a , b , c and d , where a is the leader, which denotes the optimal allocation scheme for the current iteration. b denotes the second best choice, c denotes the third best choice. The rest are defined as d , and they are guided and updated by a , b , c in the iterative process. As shown in equation

$$\begin{cases} X_1 = X_a - A_1 \cdot D_a \\ X_2 = X_b - A_2 \cdot D_b, \\ X_3 = X_c - A_3 \cdot D_c \end{cases} \quad (1)$$

where X_a, X_b, X_c respectively denote the current position of a, b, c . And D_a, D_b, D_c as show in equation

$$\begin{cases} D_a = |C_1 X_a - X| \\ D_b = |C_2 X_b - X| \\ D_c = |C_3 X_c - X| \end{cases} \quad (2)$$

where D_a, D_b, D_c respectively denote the distance between d and a, b and c . In which, X denotes the position d . A and C is the vector of cooperation coefficient, calculated by the following equation

$$A = 2er_1 - e, \quad (3)$$

$$e = 2 - \frac{2t}{T}, \quad (4)$$

$$C = 2r_2, \quad (5)$$

where e is the convergence factor, decreasing linearly from 2 to 0 as the number of iterations. T is the maximum number of iterations. r_1 and r_2 are random numbers between 0 to 1.

Algorithm Improvement

The quality of the initial population can affect the convergence speed of the algorithm and the quality of the solution. In *GWO* algorithm, the initial population is generated randomly, and population diversity cannot be guaranteed. In the optimization process of resource allocation scheme, the algorithm should conduct sufficient global search in the early stage and accelerate the convergence in the later stage, but the linear change of *GWO* algorithm convergence factor cannot fit this trend. Moreover, *GWO* algorithm is easy to fall into local optimal solution during the updating process.

Based on the above analysis, on the basis of *GWO*, Tent chaotic mapping is used to initialize the population to ensure the diversity of the initial population. The convergence factor value changes dynamically with the cosine of the number of iterations to better fit the trend of fast convergence after global exploration. By setting dynamic update weights, can increase the randomness of update and avoid the situation of unfair resource allocation.

Tent mapping is used to initialize the population to improve the ergodicity and diversity of the population. The chaotic sequence generation formula for Tent mapping is as follows

$$y_{t+1} = \begin{cases} 2y_t & 0 \leq y_t \leq 0,5 \\ 2(1 - y_t) & 0,5 \leq y_t \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

In this section, formula (6) is improved by setting cosine factor cosine change, expressed as

$$e = 2 \cdot \cos\left(\frac{3,14}{2} \cdot \frac{t}{T}\right). \quad (7)$$

In order to enhance the flexibility and adaptability of the algorithm, the key element of randomness is introduced into the updating process

$$X(t+1) = \frac{X_1 + (F_a/F_b)X_2 + (F_a/F_c)X_3}{3}, \quad (8)$$

where F_a denotes the fitness value of a , F_b denotes the fitness value of b , and F_c denotes the fitness value of c .

Simulation experiment

In order to verify the performance of *DWGWO* algorithm, it is compared with Random strategy, Genetic algorithm and *GWO* algorithm. All experimental results are the average of 30 times running of the algorithm.

Figure 1 shows the convergence trend of the four algorithms with the number of iterations when the number of servers is 6, the number of tasks is 30, and the size of tasks is 30. As is shown in the picture. In the 300 iterations of the Random strategy, the result does not show any regularities, and the total energy consumption of the server obtained by the obtained resource allocation strategy is basically higher than that of the strategy sought by the algorithm. The *DWGWO* algorithm converges rapidly in the first 50 iterations, and becomes basically stable when the iteration reaches 200. Compared with Genetic algorithm and *GWO*, the convergence is faster in the first 100 iterations, and it also tends to be stable in the 200 iterations. And in terms of convergence accuracy, *DWGWO* can obtain lower total server energy consumption.

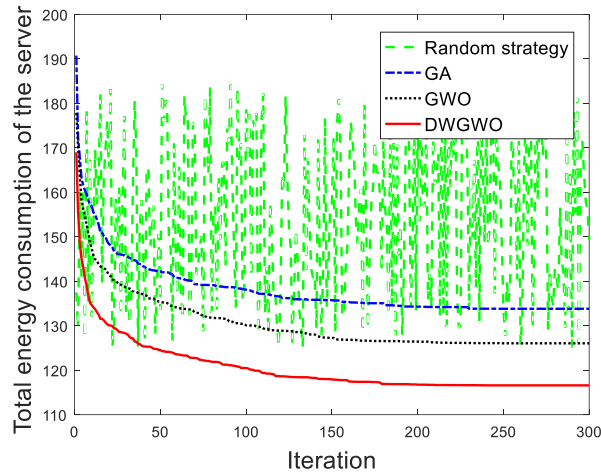


Figure 1. Convergence trend of the four algorithms with the number of iterations

Genetic algorithm, *GWO* algorithm and *DWGWO* algorithm are all population-based heuristic algorithms, and the number of of the three algorithms under different population numbers was tested. Figure 2 shows the population has a direct impact on the performance of the algorithm. Therefore, the comparison of energy consumption parison of convergence results of the three algorithms under different populations when the number of tasks is set to 30, the number of servers is set to 6, the size of tasks is set to 30, and the iteration period is set to 300.

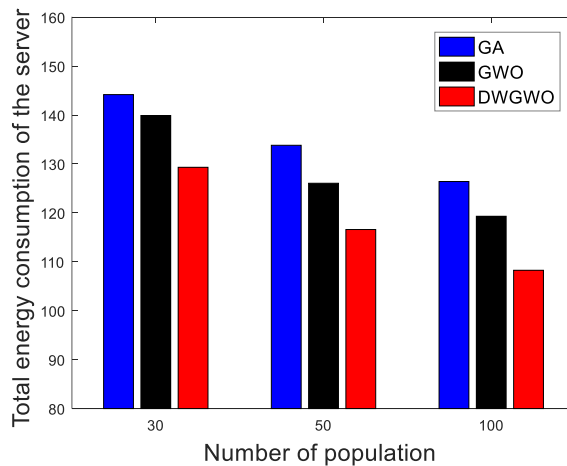


Figure 2. Convergence results of the three algorithms under different population numbers

As can be seen from the figure, when the population size is 30, 50 and 100, the *DWGWO* algorithm can obtain lower server energy consumption. When the population size is 30, the energy consumption obtained by *DWGWO* algorithm is reduced by 0,1031 compared with Genetic algorithm and 0,07

compared with *GWO*. When the population size is 50, the energy consumption obtained by *DWGWO* is reduced by 0,1287 compared with Genetic algorithm and 0,075 compared with *GWO*. When the population is 100, the energy consumption of *DWGWO* algorithm is 0,1435 less than that of Genetic algorithm and 0,0927 less than that of *GWO*.

Under the condition that the number of servers is 6, the number of tasks is 30, and the size of tasks is 30. The three algorithms were simulated for 30 times, and the optimal solution, the worst solution, the average solution and the variance of the obtained total server energy consumption are compared. As can be seen from Table 1, the convergence accuracy of Genetic algorithm is the worst, but the variance is small. That is, the algorithm has good stability. The convergence accuracy and stability of ray wolf optimization algorithm are general. *DWGWO* algorithm is superior to *GWO* in convergence accuracy and stability. Stability is slightly worse than genetic algorithm. It can be seen that when *DWGWO* algorithm solves the problem of multi-user resource allocation, its convergence speed and convergence accuracy are higher than the other three algorithms, and it also has good algorithm stability.

Table 1. Stability comparison of the three algorithms

Methods	Genetic algorithm	<i>GWO</i>	<i>DWGWO</i>
Worst solution	140,5796	134,3470	123,3593
Optimal solution	122,6979	115,6979	106,3851
Mean value	133,8140	126,0505	116,5948
Variance	17,26039	23,75953	18,53467

Conclusion

Aiming at the problem of resource allocation in mobile edge computing, this paper proposes a resource allocation scheme based on *DWGWO*. Tent chaotic mapping is used to initialize the population to ensure the diversity of initial resource allocation schemes. Secondly, the adjustment value changes dynamically with the cosine of the number of iterations to better fit the trend of resource allocation first global exploration and then rapid convergence. Finally, the randomness of the update is increased by assigning different weights to the fitness values. The simulation results show that the resource allocation scheme based on *DWGWO* can quickly find the optimal allocation solution and reduce the energy consumption of the server.

References

1. Abbas N., Zhang Y., Taherkordi A., et al. // IEEE Internet of Things Journal. 2018. Vol. 5. P. 450–465.
2. Zhang Kaiyuan., GUI Xiaolin., Ren DeWang., et al. // Journal of Software. 2019. Vol. 30(08). P. 2491–2516.
3. Xu Y., Gui G., Gacanin H., et al. // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2021. Vol. 23(2). P. 668–695.
4. Yu Z., Gong Y., Gong S., et al. // IEEE Internet of Things Journal. 2020. Vol. 7(4). P. 3147–3159.
5. You C., Zeng Y., Zhang R., et al. // 2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops). 2018. P. 20–24.
6. Li H., He X., Ding S. // 2019 International Conference on Computer Network, Electronic and Automation (ICCNEA). IEEE. 2019. P. 258–263.
7. Kim S., Park S., Chen M., et al. // IEEE Communications Letters. 2018. Vol. 22(9). P. 1922–1925.
8. Mirjalili S., Mirjalili S.M., Lewis A. // Advances in Engineering Software. 2014. Vol. 69. P. 46–61.
9. Zhang Xiaofeng, Wang Xiuying. // Computer Science. 2019. Vol. 46(03). P. 30–38.

ESTIMATION OF DOWNSAMPLING INFLUENCE ON ACCELEROMETER SIGNAL QUALITY

HAO LI

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

Received April 08, 2024

Abstract. Downsampling plays a crucial role in the field of accelerometer data analysis, especially in applications that require optimizing computing resources while ensuring minimal loss of signal integrity. This study examines the influence of downsampling on accelerometer signal quality, critical for optimizing activity recognition and health monitoring applications. Utilizing the Sisfall dataset, which captures diverse physical activities through triaxial accelerometers, the research evaluates the influence of downsampling on signal quality using metrics such as Mean Squared Error (*MSE*), energy, and Cumulative Explained Variance (*CEV*). The findings reveal that a specific downsampling factor, effectively balances data volume reduction with signal integrity preservation. This optimal factor enhances computational efficiency without significantly compromising signal quality, pivotal for the accurate analysis and recognition of physical activities. The study underscores the importance of selecting an appropriate downsampling rate to maintain the fidelity of accelerometer data in wearable technologies and health monitoring systems, providing a guideline for signal processing optimizations in such applications.

Keywords: downsampling, accelerometer data, signal quality, metrics, physical activity.

Introduction

The advent of wearable technology and the proliferation of devices equipped with accelerometers have ushered in a new era of data driven insights into human motion and activity [1]. Accelerometers, sensors capable of detecting and recording movements in dimensional space, are now ubiquitous in smartphones, fitness trackers, and medical monitoring devices [2]. They generate vast amounts of data, enabling the detailed analysis of physical activities, from daily routines to specialized athletic performance. However, the sheer volume of data produced poses significant challenges in terms of storage, processing, and analysis, necessitating efficient strategies to manage this deluge of information without compromising the quality and integrity of the signal [3].

Downsampling [4], the process of reducing the sampling rate of a signal by removing some of its components, emerges as a critical technique in addressing these challenges. It holds the promise of significantly reducing the data volume, thereby easing the demands on computational and storage resources. Nevertheless, downsampling is not without its pitfalls; it risks degrading the signal quality by omitting potentially crucial information, a consequence that must be meticulously managed, especially in applications where data integrity is paramount [5].

The Sisfall dataset, a comprehensive collection of accelerometer data focused on physical activities and falls, provides a rich foundation for exploring these challenges. It encompasses data meticulously recorded to capture the nuances of human motion, offering a unique opportunity to study the impact of downsampling on signal integrity within the context of activity recognition. Given the critical role of accelerometer data in applications ranging from healthcare monitoring to emergency response systems, understanding the effects of downsampling is paramount. Notably, in reference [9], researchers have utilized this dataset for fall detection, achieving commendable results, which underscores the dataset's value and applicability in practical scenarios.

This paper delves into the optimization of accelerometer data processing, with a specific focus on the influence of downsampling on signal quality. Through a systematic analysis using various metrics

such as Mean Squared Error (*MSE*) [6], energy, Cumulative Explained Variance (*CEV*) [7], and a novel ratio measure, the study aims to identify an optimal downsampling strategy. This strategy seeks to balance the compromise between reducing data volume and preserving the fidelity of the original signal, thereby enhancing the computational efficiency of data processing without sacrificing the accuracy of activity recognition.

The implications of this research extend beyond academic interest, offering practical insights for the design and optimization of wearable technologies and health monitoring systems. By establishing a guideline for selecting appropriate downsampling rates, this study contributes to the advancement of signal processing workflows, ensuring that wearable devices and health monitoring applications can provide reliable and accurate data with minimized computational demands.

Dataset analysis

The module raw accelerometer data serves as a pivotal foundation for our research, encapsulating a comprehensive accelerometer sensor dataset tailored for the analysis of physical activities, the module is shown as Figure 1. This dataset is distinguished by its focus on five classes of physical activities, each meticulously recorded to capture the nuances of human movement and potential falls. The essence of this dataset is summarized in two essential tables, in the Table 1, which outlines the key characteristics of the Sisfall dataset [8], and in the Table 2, which categorizes the activities and falls under investigation.

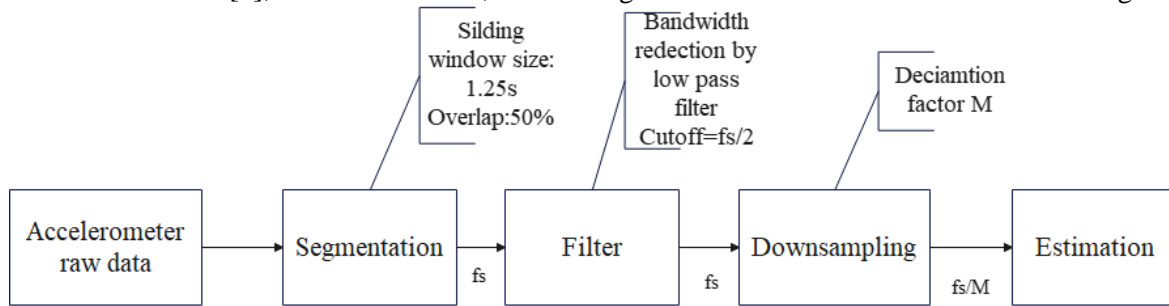


Figure 1. Block diagram of accelerometer data downsampling algorithm

Table 1. The key characteristics of the Sisfall dataset

Parameter	Sisfall dataset
Sampling frequency	200Hz
Number of activities of daily living	19
Number of fall activities	15
Sensors used	Accelerometer
Position of sensor	Waist
Window size	1.25 seconds
Window overlap rate	50%

Table 2. Five classes of activities and falls selected for this work

Code	Activity	Trials	Duration
F01	Fall forward while walking caused by a slip	5	15 seconds
F05	Fall forward while jogging caused by a trip	5	15 seconds
F13	Fall forward while sitting, caused by fainting or falling asleep	5	15 seconds
D08	Quickly sit in a half height chair, wait a moment, and up quickly	5	12 seconds
D13	Sitting a moment, lying quickly, wait a moment, and sit again	5	12 seconds

Boxplots are a standardized way of displaying the distribution of data based on a five metrics: minimum, first quartile, median, third quartile, and maximum. In the context of accelerometer data for physical activities, boxplots can reveal a lot about the nature of movements associated with each activity class. The boxplot of fall activity is shown as Figure 2.

From the boxplot, we can observe that fall activities display outliers, reflecting the sudden nature of falls. The range of acceleration values (indicated by the whiskers) might be wider due to the abrupt start and end points of a fall. Dynamic activities show a larger interquartile range (*IQR*), indicating variability in movement speed and style among different trials or subjects. Therefore, using boxplots

allows us to more clearly observe the distribution and characteristics of the data, which helps us better analyze the data of different activities.

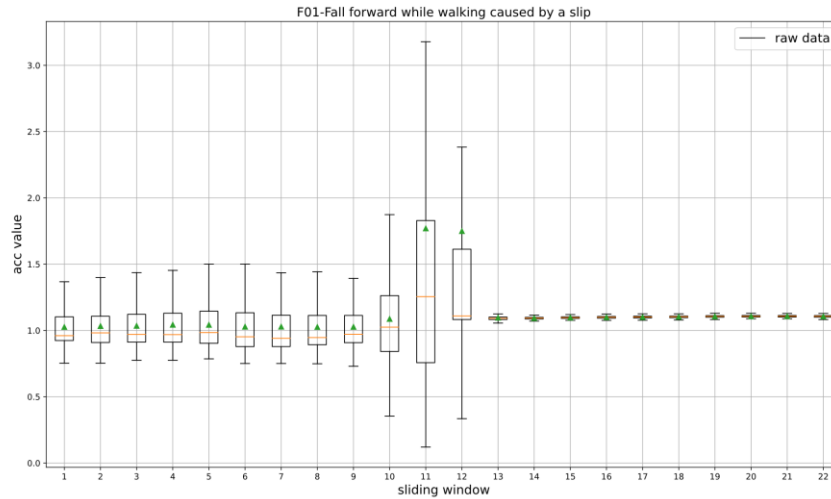


Figure 2. The boxplot of fall activity

By comparing these aspects across the classes of activities, we can glean insights into the characteristics of each activity type, such as the consistency of movement, the presence of abrupt starts or stops, and the overall intensity.

Assessing the influence of downsampling on signal quality

In this study, we aimed to evaluate the impact of downsampling on the quality of accelerometer signals across various physical activities, including walking, jogging, sitting, and dynamic postural transitions. Given the critical role of accurate accelerometer data in applications ranging from healthcare monitoring to activity recognition, understanding the effects of downsampling is paramount for optimizing signal processing workflows. The formula of downsampling by using the expression

$$y[n] = x[nM], \quad (1)$$

where $y[n]$ is the accelerometer signal after downsampling. $x[n]$ is the accelerometer original signal, with n is the sample number in the original signal. M is the downsampling factor, determining the interval at which samples are selected from the original signal. For example, if $M = 2$, every other sample is taken from the original signal for downsampling, if $M = 3$, every third sample is taken. By selecting every M th data point from the original signal, the downsampling process lowers the signal's sampling rate. This means if the original signal has a sampling rate of fs , the sampling rate of the downsampled signal will be fs / M . Downsampling is a common operation in signal processing, especially when there's a need to reduce the volume of data to simplify analysis or decrease processing load. However, downsampling can lead to the loss of some high frequency information in the signal, known as aliasing. Therefore, appropriate antialiasing filtering, according to the Nyquist theorem, is usually performed before downsampling to prevent this loss of information.

1. Metrics for evaluating the impact of downsampling on signal quality.

Evaluating the impact of downsampling on signal quality involves assessing how well the downsampled signal retains the essential characteristics of the original signal, considering the inherent compromise between reducing data size and maintaining fidelity. Several metrics can be employed to quantify this impact, each offering insight into different aspects of signal quality.

1.1. *MSE*. This metric measures the average error between the downsampled data and the original data, serving as a direct metric for assessing data loss during downsampling. By measuring the average error between the downsampled data and the original data, it provides a direct quantification of the extent of information loss during the downsampling process.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (2)$$

where N is the number of samples, y_i is the signal after downsampling, \hat{y}_i is the original signal.

1.2. Energy. this metric is used to calculate the energy ratio of the downsampled data. This helps to assess the impact of downsampling on signal energy and the degree of information loss in the signal during the downsampling process.

$$Energy = \frac{\sum_{i=0}^k x[i]^2}{\sum_{i=0}^{N-1} x[i]^2}, \quad (3)$$

where $x[i]$ is the signal after downsampling, N is the number of samples, k is the maximum frequency $f_{\max}/\Delta f$.

1.3. *CEV*. This metric is applicable for assessing the percentage of the total variance explained by the first K principal components in *PCA* analysis of downsampling data. It helps us understand how much of the original data's variability is retained during the downsampling process.

$$CEV = \frac{\sum_{i=1}^K \lambda_i}{\sum_{i=1}^{NPC} \lambda_i}, \quad (4)$$

where λ_i is the eigenvalue of the i th principal component, NPC is the number of principal component, K is the number of principal components chosen for the calculation.

1.4. Ratio (*Ratiodown*). By computing and comparing metric, we can quantify the impact of downsampling on the signal structure. A downsampled ratio value close to 1 indicates that the downsampling has preserved the signal's recursive similarity structure, while a value far from 1 indicates a significant impact on the signal structure. This approach provides a basis for choosing the downsampling rate, specifically selecting those that minimize the impact on the signal's intrinsic similarity while reducing the amount of data.

$$Ratiodown = \frac{S_{j,d}}{S_j}, \quad (5)$$

$$S_{j,d} = \frac{1}{N_d} \sum_{j=0}^{N_d-i-i} |X_{d,j+i} - X_{d,j}|, \quad (6)$$

where X_d is the signal obtained by downsampling the original S , $X_{d,j}$ is the the value of the downsampled signal at time j , N_d is the length of the downsampled signal, i is the lag step size, S_i is the recursive similarity measure of the original signal at the same delay i .

1.5. The difference between downsampled signal and original signal (*Diff*). The metric serves as a quantitative measure of the effectiveness of the signal reconstruction process, specifically after a signal has undergone downsampling and subsequent upsampling with interpolation. It calculates the average absolute difference between the original signal $x[n]$ and its reconstructed version $z[n]$, effectively capturing the fidelity of reconstruction. A lower metric value indicates a closer match between the original and reconstructed signals, suggesting minimal loss of information and high preservation of signal quality through the downsampling and upsampling process. Therefore, this metric is very important in the evaluation of signal downsampling and upsampling data quality. It can more intuitively show the changes after data sampling.

$$Diff = \frac{\sum_{i=1}^N |z[i] - x[i]|}{N}, \quad (7)$$

$$z[n] = \sum_{k=0}^{L-1} y[k] \cdot \text{sinc}\left(\frac{n-kM}{M}\right), \quad (8)$$

where $z[n]$ is the signal obtained after upsampling $y[n]$ back to the original sampling rate and applying interpolation to fill in the gaps, L is the length of the downsampled signal $y[n]$, $\text{sinc}(n-kM/M)$ is the *sinc* function used for interpolation. It acts as an ideal low pass filter kernel to reconstruct the signal at intermediate points.

Experiment and analysis

This chapter is founded on a comprehensive evaluation utilizing a range of metrics, including *MSE*, Energy, *CEV*, and ratio. Each metric is tailored to scrutinize distinct aspects of signal integrity following downsampling. Through systematic experimentation with these metrics, the study aims to discern the most effective downsampling strategy, ultimately minimizing information loss.

MSE offers insights into the average discrepancy between the downsampled and original signals, highlighting the overall fidelity of the downsampling process. Energy metrics delve into the distribution of signal energy, shedding light on potential alterations in signal dynamics downsampling. *CEV* analysis contributes to understanding the variability of signal characteristics, aiding in identifying regions where downsampling may have a more pronounced impact.

The utilization of normalized values of *MSE*, energy, and *CEV* activities and bandwidths, as depicted in Figure 3, further enhances the depth of analysis. This visualization allows for a comparative examination of downsampling outcomes across different signal types and processing configurations. By scrutinizing the impact of downsampling under varying conditions, researchers can glean valuable insights into the robustness and versatility of different downsampling strategies.

Ultimately, the amalgamation of diverse evaluation metrics and systematic experimentation enables the identification of optimal downsampling approaches tailored to specific application requirements.

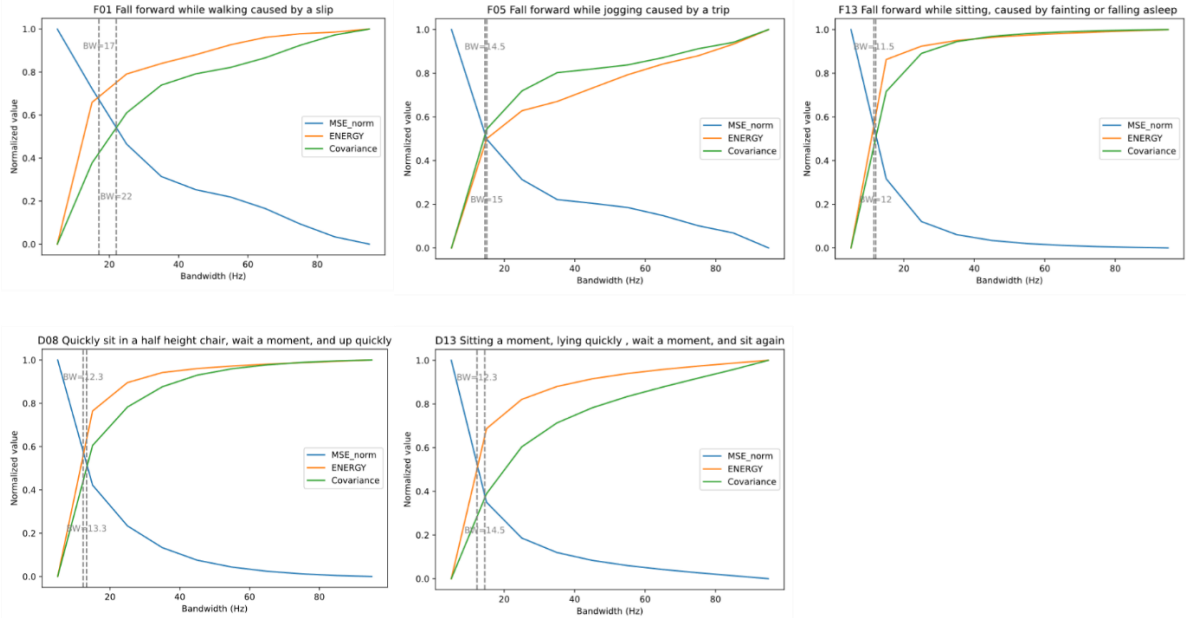


Figure 3. Comparative analysis three metrics of different bandwidths for activities

As shown in the Figure 3, from the experiments conducted, it is apparent that the optimal bandwidth hovers around 15 Hz. The experiments lead us to conclude that at this bandwidth, data volume is effectively reduced, facilitating more efficient storage and faster processing, without considerably compromising the signal's overall quality and usability. The bandwidth range of 12 Hz to 17 Hz emerges as the most favorable, crucial for diminishing data volume whilst maintaining the signal's core attributes. This balance ensures that computational efficiency and the retention of premium signal are optimized, enabling precise activity analysis and recognition.

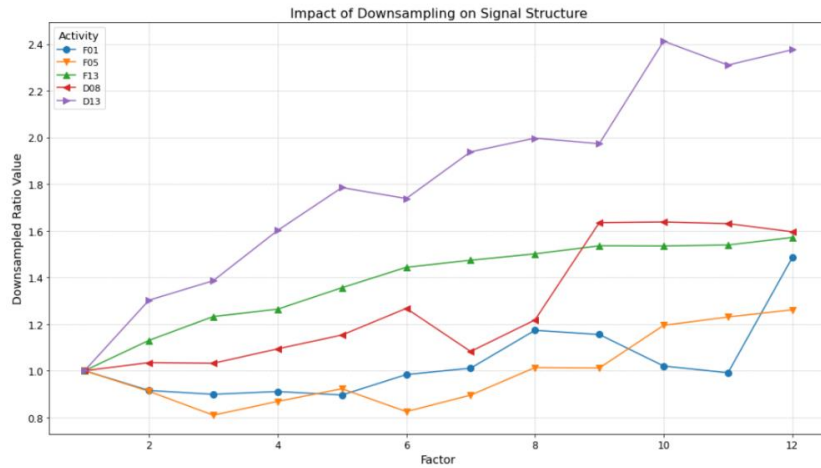


Figure 4. Comparative analysis of downsampling factors using downsampling ratio

As shown in the Figure 4, we observe that although different activities have their optimal downsampling factors at different time intervals, a common trend emerges. For most activities, the ratio is still closest to the ideal value of 1 at the initial interval, but grows to a certain trend and is relatively flat or declines. Choosing a downsampling factor in this range may improve data reduction and maintain signals in different types of activities. Produces an optimal balance between structural integrity.

Table 3. **Difference between downsampled signal and original signal**

Factor	F01	F05	F13	D08	D13
2	0.122873562	0.243020296	0.036218504	0.041545743	0.01433779
4	0.104106957	0.147924838	0.024735706	0.027431345	0.012322775
6	0.077419495	0.114917775	0.01832282	0.02039018	0.009007972
8	0.053764864	0.091222865	0.011434971	0.016155145	0.007636401
10	0.050401664	0.087729274	0.01005775	0.016219336	0.00729715
12	0.078672189	0.099855768	0.017619462	0.024762008	0.009341281
Best factor	10	10	10	8	10

Table 3 indicates that a downsampling factor of 10 show the smallest difference between downsampled and original signals for most activities, suggesting it is the optimal choice for preserving signal quality while reducing data. The exception is activity *D08*, which has an optimal factor of 8, indicating that this activity retains signal integrity better at a slightly higher sampling rate. This information is essential for efficiently processing accelerometer data without compromising on quality.

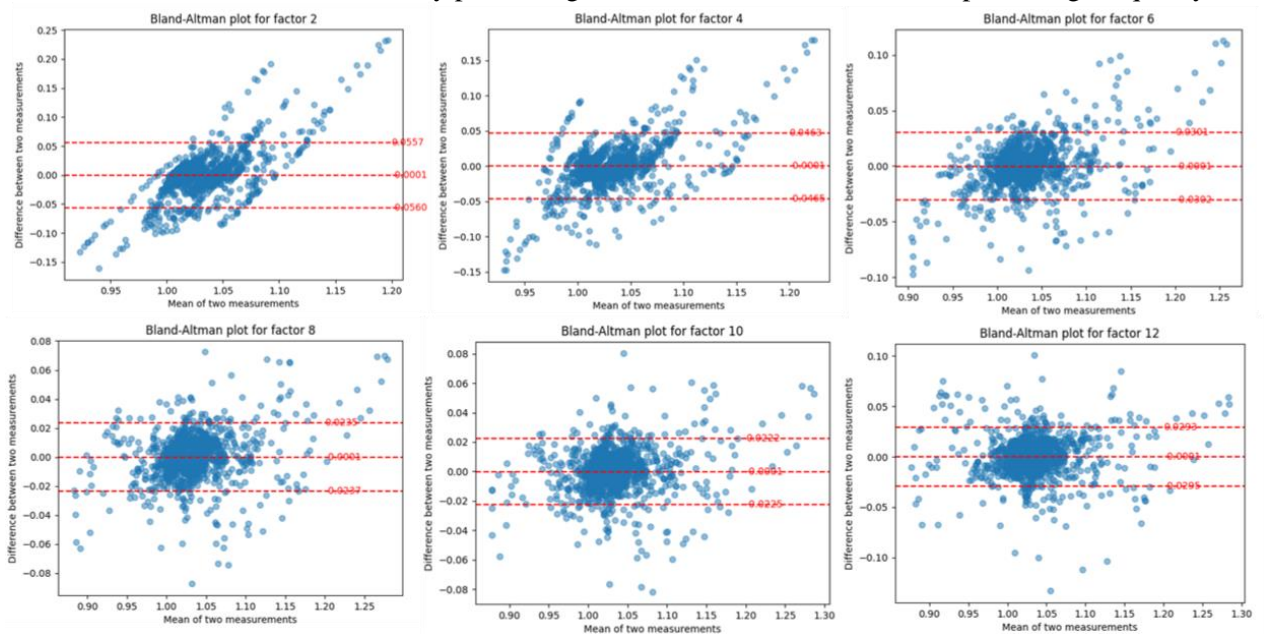


Figure 5. Bland altman plots for original and downsampled data across various downsampling factors

The use of bland altman plots, as shown in Figure 5, complements the findings presented in table 4, serving as a visual affirmation of the quantitative analysis. Bland altman plots are effective for assessing the agreement between two different measurements, in this case, between the downsampled and original data. If the plots show that the differences mostly lie within acceptable limits of agreement and the mean difference is close to zero, it implies a strong consistency between the two sets of data. This visual tool thus provides a clear and intuitive confirmation that a downsampling factor of 10 is indeed effective in retaining the integrity of the signal while significantly reducing the data size, consistent with the analytical results in Table 3.

Conclusion

The study successfully identified an optimal downsampling factor for accelerometer data, balancing data reduction with signal quality preservation. This finding is crucial for enhancing the processing efficiency of wearable technologies and health monitoring systems without sacrificing the accuracy of activity recognition. The results of this research serve as a metric for optimizing signal processing in applications where maintaining data integrity is as important as minimizing computational load.

References

1. Yang C. C., Hsu Y. L. // *Sensors*. 2010. Vol. 10(8). P. 7772–7788.
2. Picerno P., Iosa M., D’Souza C., et al. // *Expert Review of Medical Devices*. 2021. Vol. 18(sup1). P. 79–94.
3. Xiao Z. G., Menon C. // *Sensors*. 2019. Vol. 19(11). P. 2432.
4. Gopinath R. A., Burrus C. S. // *IEEE Transactions on Signal Processing*. 1994. Vol. 42(4). P. 812–824.
5. Díaz García J., Brunet Crosa P., Navazo Álvaro I., et al. // *Proceedings of the International conferences Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing 2017 and Big Data Analytics, Data Mining and Computational Intelligence 2017: Lisbon, Portugal, July 21–23, 2017*. IADIS Press. 2017. P. 12–20.
6. Abdi H., Williams L. J. // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. 2010. Vol. 2(4). P. 433–459.
7. Shcherbakov M. V., Brebels A., Shcherbakova N. L., et al. // *World Applied Sciences Journal*. 2013. Vol. 24(24). P. 171–176.
8. Sucerquia A., López J. D., Vargas–Bonilla J. F. // *Sensors*. 2017. Vol. 17(1). P. 198.
9. Li H., Ma J., Ren X., et al. // *Pattern Recognition and Information Processing*. 2023. P. 169–175.

METHODS OF EXTRACT FEATURES FROM IMAGE IN VISUAL SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING

CHEN YIMING

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

Received April 11, 2024

Abstract. Visual simultaneous localization and mapping (*VSLAM*) depends on features from image to decide if two frame is relevant and reconstruct the map. This paper reviews multiple methods for extract features from images in grayscale, *RGB* and infrared.

Keywords: image feature, visual *SLAM*.

Introduction

Simultaneous Localization and Mapping (*SLAM*) finds utility across a diverse spectrum of applications, including aerial and underwater mobile robots, autonomous vehicles, drones, and physical gaming environments.

In recent years, with the widespread use of high-quality, high-resolution cameras, the cost of computer processing images has become increasingly high. Visual *SLAM* algorithms rely heavily on image processing and analysis, making it crucial to extract image features and use them to reduce the computational cost of subsequent processing. As shown in Figure 1, the flowchart describes the basic steps of a general *SLAM* system.

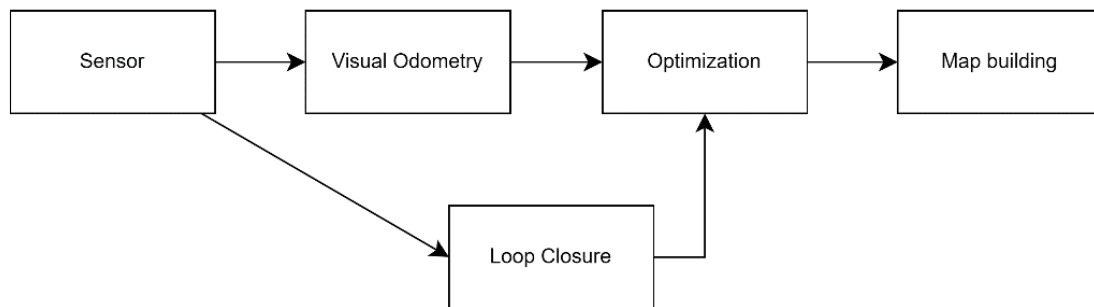


Figure 1. General *SLAM* flowchart

Visual odometry and loop closure depend on the features of the image. Visual odometry uses features from the image to speed up the computation of camera rotation and translation in the world. Loop closure, on the other hand, relies on database of features to determine when two sets of features indicate that the camera is returning to where it was, and then uses this information to correct the cumulative error of the system.

Features in an image refer to pixels that share common attributes and are different from other nearby pixels. Vision based *SLAM* detects the visual features of the environment such as corners, edges, colors, shadows, shapes, and depths. Features used for visual *SLAM*, must have rotation, orientation, translation, scaling, and luminance invariance.

Methods to Extract Feature

To find the best features in an image that are direction, angle and contrast invariant is important to achieve higher accuracy and faster results in navigation and *SLAM*. Several modern techniques have

been proposed for key point feature extraction and matching. Some of the best examples are Scale Invariant Feature Transform (*SIFT*), Speeded Up Robust Features (*SURF*), Features from Accelerated Segment Test (*FAST*), Binary Robust Independent Elementary Features (*BRIEF*), Oriented FAST and Rotated BRIEF (*ORB*) and Histogram of Oriented Gradients (*HOG*).

Dalal and Triggs proposed the basic model of Histogram of Oriented Gradients (*HOG*) for human recognition in 2005 [1]. In this feature description algorithm, the main feature is the distribution (histogram) of gradient (oriented gradient) directions. Using the image gradients, the corners and edges of the object can be extracted and defined as the main object features. This algorithm is one of the basic algorithms before deep learning techniques are introduced for feature description. Figure 2 shows the magnitude of gradient for an image and *HOG* result.

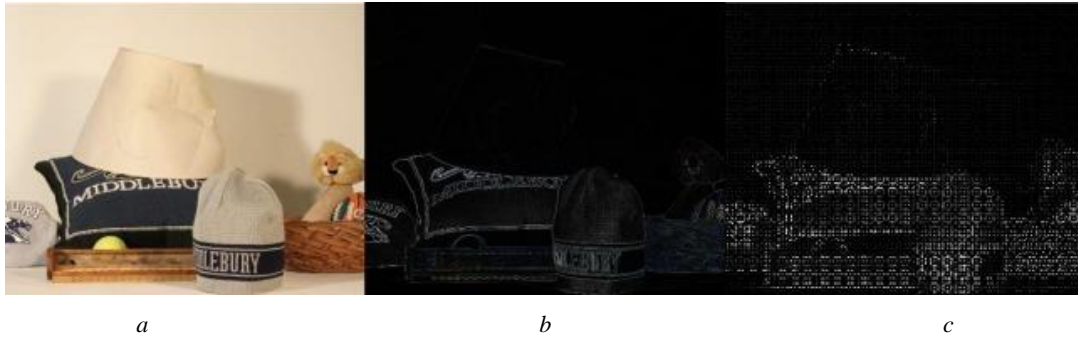


Figure 2. HOG feature detection algorithm [2]: *a* – original image; *b* – the magnitude of gradient; *c* – HOG result

Lowe proposed an image rotation and scaling invariant algorithm called *SIFT* in 2004 [3]. This technique is widely used for keypoint feature matching and is robust to image scaling and rotation, while being partially invariant to illumination changes and affine transformations. The algorithm utilizes a Taylor expansion of a Difference of Gaussian (*DOG*) scale space function and then adjusts it to center at a candidate point, thus achieving precise keypoint localization. Figure 3 shows an example of keypoints in two images matching each other using *SIFT* algorithm.

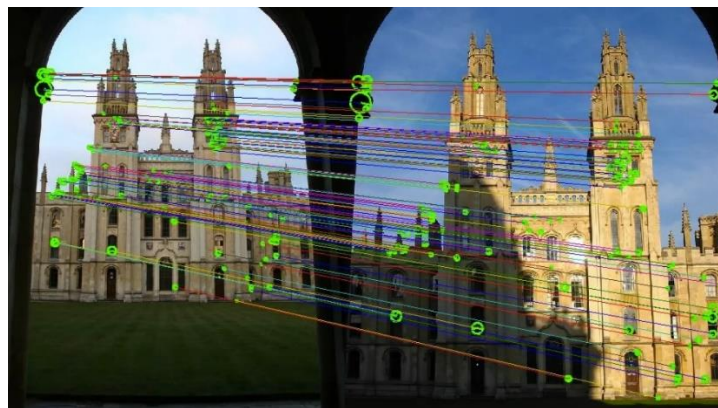


Figure 3. SIFT algorithm: Feature Matching in two images of the same building

SURF is a fast version of *SIFT*, proposed by Bay, Ess, Tuytelaars and Van Gool in 2008 [4], which generates multilevel image and descriptor pairs. The *SURF* algorithm works like *SIFT*, but it uses Haar wavelets instead of Gaussian differences. The *SURF* algorithm uses Hessian matrix determinants to select the positions and scales to generate fast and accurate descriptors.

The *ORB* (Orientation *FAST* and Rotation *BRIEF*) algorithm is an alternative descriptor proposed by Rublee et al. in 2011 [5]. The method is based on the *BRIEF* descriptor and the *FAST* keypoint detector, which measures the orientation of an angle by its intensity centroid. The moments of an image patch can be expressed as

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x, y), \quad (1)$$

where q and p represent the order of the moment, x and y are the spatial coordinates within the image.

With these moments, the center of mass of the patch can be defined as

$$C = \left(\frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right). \quad (2)$$

Using C , the vector from the corner's center, O is computed as OC . The orientation of the patch is defined as

$$R = \text{atan2}(m_{01}, m_{10}), \quad (3)$$

where atan2 is the quadrant-aware version of \arctan .

Using R , it is possible to rotate it to a canonical rotation to compute the descriptor, thus obtaining some rotation invariance. The *ORB* algorithm is very fast but less effective in terms of scale. This approach is used in the *ORB-SLAM* method proposed by Mur-Artal et al. in 2015 [6] and in the *ORB-SLAM* second version method proposed by Mur-Artal & Tardós in 2017 [7], which is a feature-based *SLAM* technique that uses an *ORB* feature descriptor to generate graphs from the keyframes. Figure 4 shows the *ORB* image matching results for a sample image.

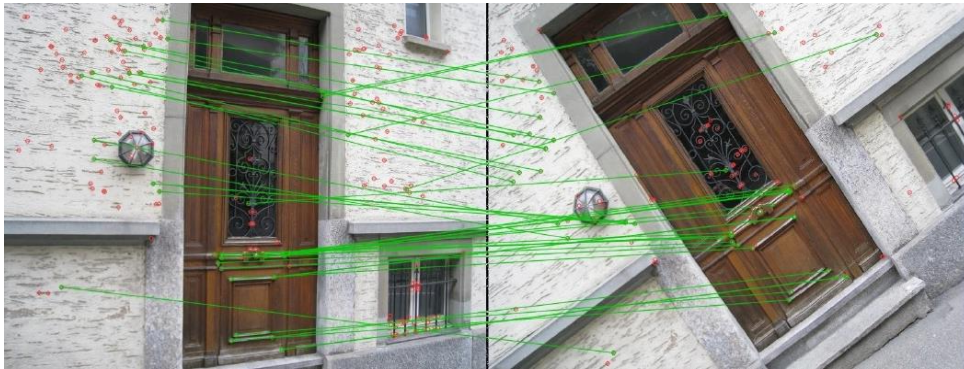


Figure 4. ORB algorithm: Image matching from original image and rotated original image [8]

Conclusion

SIFT, *SURF* and *ORB* are commonly used feature extraction and description algorithms in image processing and target recognition. The main differences between them are computational complexity, scale and rotation invariance, feature description method, and number and stability of features.

In terms of computational complexity, *SIFT* has higher computational complexity in the feature extraction and matching phases, while *SURF* is relatively faster but still requires a lot of computational resources. *ORB* outperforms *SIFT* and *SURF* in terms of computational speed because it combines a fast corner detector and a rotated *BRIEF* descriptor.

As of scale and rotation invariance, *SIFT* has better invariance to scale changes and rotation transformations and can detect feature points at different scales and angles, *SURF* also has some scale and rotation invariance, but it is slightly inferior to *SIFT* and *ORB* lacks a little in this aspect, especially when dealing with large scale changes and rotations.

References

1. Dalal, Navneet, Triggs, Bill. // 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05). 2005. Vol. 1. P. 1–8.
2. Kazerouni, Iman Abaspor, et al. // Expert Systems with Applications. 2022. Vol. 205. P. 117734.
3. Lowe, David G. // International Journal of Computer Vision. 2004. Vol. 60. P. 91–110.
4. Bay, Herbert, et al. // Computer Vision and Image Understanding. 2008. Vol. 110(3). P. 346–359.
5. Rublee, Ethan, et al. // 2011 International Conference on Computer Vision. 2011. P. 2564–2571
6. Mur-Artal, Raul, Martinez Montiel, Jose Maria, Tardos, Juan D. // IEEE Transactions on Robotics. 2015. Vol. 31(5). P. 1147–1163.
7. Mur-Artal, Raul, Tardós, Juan D. // IEEE Transactions on Robotics. 2017. Vol. 33(5). P. 1255–1262.
8. Leutenegger, Stefan, Chli, Margarita, Siegwart, Roland Y. // 2011 International Conference on Computer Vision. 2011. P. 2548–2555

IMPLEMENTATION PRINCIPLE OF MONOCULAR RANGING

QICHENG GUO

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

Received April 8, 2024

Abstract. As a commonly used measurement technology, monocular ranging is widely used in various fields due to its advantages such as simplicity, ease of use, low cost, and real-time measurement. This article will explain the principles and implementation methods of monocular ranging, application fields, and its potential challenges and development directions.

Keywords: monocular ranging, principles and methods, application areas, development directions.

Introduction

Monocular ranging uses image information obtained by a single camera or sensor to infer the distance between an object and the observer through a series of algorithms and methods [1]. In the field of computer vision and machine perception, monocular ranging technology plays an important role. It is a key component to realize autonomous navigation, environment perception and distance measurement of intelligent systems. Common monocular distance measurement methods include: Stereo Vision, Structured Light, Motion-based Methods, Focus Variation, and Texture Features.

Monocular ranging principle

1. Camera imaging model.

In the monocular distance measurement method, to obtain distance information, you need to obtain a point in the three-dimensional real world. Since the processed object is a two-dimensional plane image captured by a camera, therefore, how to convert a point on a two-dimensional image into a point in the three-dimensional world is a problem that must be considered. Converting points on the image to points in the real world requires mutual conversion between the pixel coordinate system, the image coordinate system, the camera coordinate system and the world coordinate system [2]. The interrelationships between the four coordinate systems are shown in Figure 1. The coordinate system is described as follows:

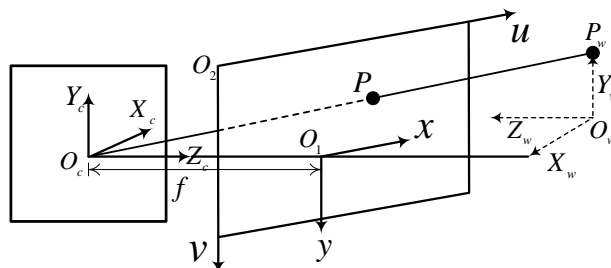


Figure 1. The relationship between the four coordinate systems

Pixel coordinate system. Digital images are generally three-dimensional images and are composed of many pixels. The origin of the pixel coordinate system is O_2 , with the width direction as the u -axis and the height direction as the v -axis.

Image coordinate system. The origin of the image coordinates is O_1 , and the pixel coordinate system and the image coordinate system are parallel, with the image width direction as the x -axis, the height direction as the y -axis, and the length unit is mm .

Camera coordinate system. The origin O_c of the camera coordinate system, the X_c axis and the Y_c axis are parallel to the x -axis and y -axis of the image coordinate system respectively, and the camera Z_c axis coincides with the camera optical axis.

World coordinate system. The environment we are in is under the world coordinate system, which is the plane $X_w Y_w Z_w$ in Figure 1. P_w completes the conversion from world coordinates to coordinates on the image from a point in the real world to point P on the image.

2. Coordinate system conversion.

2.1. Convert pixel coordinate system to image coordinate system.

The pixel coordinate system represents the position information of each pixel in pixels, but it cannot express the physical size of the object in the image, so conversion between coordinate systems is required.

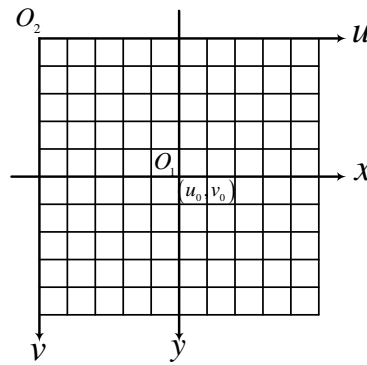


Figure 2. Convert pixel coordinate system to image coordinate system

In Figure 2, the relationship between the coordinates (x, y) of the image coordinate system and the coordinates (u, v) of the pixel coordinate system can be expressed as formula (1)

$$\begin{cases} x = udx - u_0dx \\ y = vdy - v_0dy \end{cases}, \quad (1)$$

where (u_0, v_0) are the pixel coordinates of the image center, dx and dy are the unit physical lengths of the horizontal and vertical pixels on the photosensitive plate respectively. The form written as a homogeneous coordinate matrix is formula (2)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dx & 0 & 0 \\ 0 & dy & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -u_0dx \\ -v_0dy \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dx & 0 & -u_0dx \\ 0 & dy & -v_0dy \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

2.2. Transform the image coordinate system to the camera coordinate system

Figure 3 shows the process of imaging the object into the image coordinate system. The distance between O_cO_1 is the focal length f . Point P and point P' are the coordinates in the camera coordinate system and image coordinate system respectively.

It is easy to see from the above figure that the triangle O_cO_1B is similar to the triangle O_cCA , and the triangle O_cBP' is similar to the triangle O_cAP . According to the principle of similar triangles, there is formula (3)

$$\frac{O_cO_1}{O_cC} = \frac{O_1B}{CA} = \frac{O_cB}{O_cA} = \frac{P'B}{PA}. \quad (3)$$

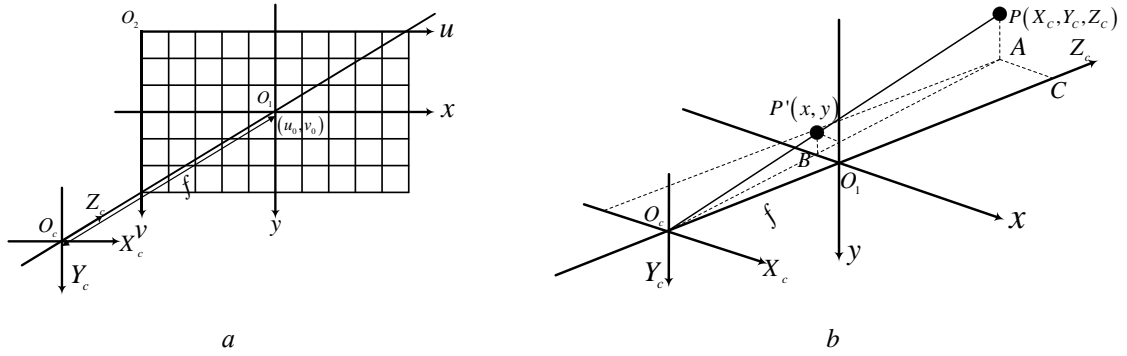


Figure 3. The process of imaging an object into the image coordinate system: *a* – camera coordinate system; *b* – similar triangle model

And the distance of $O_c O_1$ is the focal length f . Combined with $P(X_c, Y_c, Z_c)$ and $P'(x, y)$ point coordinates, the above formula can be written as (4)

$$\frac{f}{Z_c} = \frac{x}{X_c} = \frac{y}{Y_c}. \quad (4)$$

By further pushing it down, we can get formula (5)

$$\begin{cases} X_c = \frac{xZ_c}{f} \\ Y_c = \frac{yZ_c}{f} \end{cases}. \quad (5)$$

The form of writing it as a homogeneous coordinate matrix is formula (6)

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Z_c}{f} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{Z_c}{f} & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

2.3. Transform the camera coordinate system to the world coordinate system.

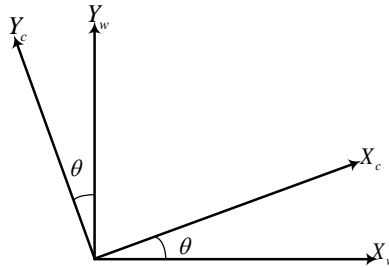


Figure 4. Convert pixel coordinate system to image coordinate system

As shown in Figure 4, the transformation from the camera coordinate system to the world coordinate system can be described as a process of rotation and translation. Adding up the components of rotation and translation respectively is the entire process of coordinate system transformation.

For the rotation process, assuming that the camera rotates around the z -axis of the coordinate system, there is formula (7)

$$\begin{cases} X_w = X_c \cos \theta - Y_c \sin \theta \\ Y_w = X_c \sin \theta + Y_c \cos \theta . \\ Z_w = Z_c \end{cases} \quad (7)$$

In the same way, rotating around the x -axis will yield formula (8)

$$\begin{cases} X_w = Z_c \\ Y_w = Y_c \cos \alpha - Z_c \sin \alpha . \\ Z_w = Y_c \sin \alpha - Z_c \cos \alpha \end{cases} \quad (8)$$

Rotating around the y -axis will yield formula (9)

$$\begin{cases} X_w = Z_c \sin \beta + X_c \cos \beta \\ Y_w = Y_c \\ Z_w = Z_c \cos \beta - X_c \sin \beta \end{cases} . \quad (9)$$

For the translation component, it can be expressed as formula (10)

$$\begin{cases} X_w = X_c + T_x \\ Y_w = Y_c + T_y . \\ Z_w = Z_c + T_z \end{cases} \quad (10)$$

After obtaining the translation vector and rotation matrix, the formula for transforming from the camera coordinate system to the world coordinate system can be completely written as formula (11)

$$\begin{bmatrix} X_w & Y_w & Z_w & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c & Y_c & Z_c & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & 0 \\ T & 1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

The rotation matrix R is expressed as formula (12)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

The translation matrix T is expressed as: $\begin{bmatrix} T_x & T_y & T_z \end{bmatrix}$. The combined formula completes the conversion from the pixel coordinate system to the world coordinate system, and is expressed as formula (13)

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{Z_c dx}{f} & 0 & \frac{-Z_c u_0 dx}{f} \\ 0 & \frac{Z_c dy}{f} & \frac{-Z_c v_0 dy}{f} \\ 0 & 0 & Z_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

In this way, for a point on the image, the specific distance value can be obtained using the above formula (13) combined with the internal and external parameters of the camera.

Application fields of monocular ranging

Monocular ranging technology is widely used in the following fields [3]:

1. Robot technology: In the field of robots, monocular ranging is the key to achieving autonomous navigation and obstacle avoidance. Through monocular ranging, the robot can sense the distance of objects in the surrounding environment to plan the best path and avoid obstacles.

2. Computer vision: In computer vision, monocular ranging can help the system understand the position and size of objects in the image, thereby achieving tasks such as target detection, tracking, and three-dimensional reconstruction.

3. Virtual and augmented reality: In virtual and augmented reality applications, monocular ranging can help the system accurately superimpose virtual objects into the real world to achieve a realistic virtual experience.

4. Self-driving cars: For self-driving cars, accurate distance measurement is an important factor in ensuring safe driving. Monocular ranging can help the vehicle sense the distance of other vehicles, pedestrians and obstacles in the surrounding environment, thereby making timely driving decisions.

5. Medical imaging: In the medical field, monocular ranging can help doctors accurately measure the location and size of organs, tumors, etc. in the patient's body, thereby guiding the diagnosis and treatment process.

6. Military and security: Monocular ranging also plays an important role in military reconnaissance, target tracking, security monitoring and other fields. By accurately measuring the distance to a target, military personnel can be helped to make appropriate tactical decisions and safety measures.

Future challenges and development directions

The challenges and future development directions of monocular ranging technology are as follows:

1. Accuracy and robustness: Improve the accuracy and robustness of monocular ranging methods to adapt to complex and changeable environments.

2. Real-time and efficiency: Optimize the algorithm and hardware to improve the real-time and efficiency of the monocular ranging algorithm.

3. Cross-field integration: Integrate monocular ranging technology with other sensing technologies and artificial intelligence algorithms to expand its applications in different fields.

Conclusion

Monocular ranging is an important measurement technology. It is widely used in many fields due to its fast speed, simple calculation, and low price [4]. However, it still has shortcomings such as low accuracy and poor robustness [5]. With the continuous development of computer vision and artificial intelligence technology, monocular ranging technology still has great room for development and potential.

References

1. Chen S, Mei S, Jia G. // *Journal of Internet Technology*. 2021. Vol. 22(5). P. 1131–1142.
2. Lu W, Wang T T, Chu J H. // *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 403. P. 1451–1454.
3. Witus G, Hunt S. // *Unmanned Systems Technology X*. SPIE. 2008. Vol. 6962. P. 38–44.
4. Chwa D, Dani A P, Dixon W E. // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2015. Vol. 24(4). P. 1174–1183.
5. Nakamura K, Ishigaki K, Ogata T. // *2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. IEEE. 2013. P 1368–1373.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИЗНАКОВ DDoS-АТАК IoT-БОТНЕТОВ

С.Н. ПЕТРОВ¹, С.А. ШАВЛОВСКИЙ², А.О. РОДУЛЕВИЧ²

1 – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

2 – Национальный детский технопарк, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 31 марта 2024

Аннотация. Проведен сравнительный анализ эффективности алгоритмов классификации для обнаружения признаков DDoS-атак IoT-ботнетов. Показан значительный разброс результатов классификации в зависимости от используемого датасета, что говорит о важности корректного подбора данных для обучения и тестирования моделей машинного обучения.

Ключевые слова: сетевые атаки, DDoS, IoT-ботнет, машинное обучение, классификация сетевого трафика.

Введение

Ботнет – это совокупность устройств, подключенных через Интернет, на каждом из которых работает один бот или серия ботов. Одним из преимуществ ботнета для нарушителя является использование вычислительной мощности сотен или тысяч вычислительных устройств. Распределенные атаки типа «отказ в обслуживании» (DDoS) являются наиболее распространенным применением ботнетов. Устройства интернета вещей (IoT) – это любые устройства с возможностью подключаться к интернету и обмениваться данными с другими устройствами и платформами. Согласно некоторым исследованиям и прогнозам, число устройств IoT может достигнуть от 20 до 30 миллиардов к 2025 году. Многие из этих устройств являются не безопасными. Анализ популярных моделей устройств выявил порядка 250 уязвимостей, включая открытые порты telnet, устаревшие прошивки и передачу конфиденциальных данных в открытом виде. Распространение небезопасных IoT-устройств привело к росту числа ботнет-атак [1]. Таким образом, изучение способов выявления вредоносного ботнет-трафика является актуальной темой. При этом, трафик IoT устройств отличается от трафика прочих устройств, например ноутбуков и смартфонов. Предлагается использовать машинное обучение для обнаружения характерного DDoS IoT сетевого поведения. Для достижения этого необходимо: провести анализ отличительных признаков сетевого трафика, характерных для IoT-ботнетов; провести анализ публичных датасетов для обнаружений аномалий сетевого трафика; обучить классификаторы для нахождения в трафике признаков DDoS-атаки IoT-ботнетов и выбрать оптимальный классификатор.

Методика проведения исследования

Обнаружение сетевых атак типа отказ в обслуживании можно свести к решению задачи классификации. Бинарной классификации (нормальный трафик, DDoS-трафик) или мультиклассовой классификации (нормальный трафик, DDoS-трафик различных типов). Были выбраны для изучения такие методы машинного обучения как метод опорных векторов (Support Vector Machines), метод ближайших соседей (Nearest Neighbors), деревья принятия решений (Decision Trees), многослойный перцептрон (Multi-Layer Perceptron).

В качестве основного инструмента для обучения и тестирования моделей машинного обучения была выбрана библиотека машинного обучения TensorFlow. TensorFlow – это открытая библиотека машинного обучения, которая обладает богатым функционалом, поддерживает различные архитектуры моделей и предоставляет инструменты для эффективного обучения и развертывания моделей машинного обучения. Он является одним из наиболее популярных инструментов в данной области

Обучение моделей проводилось с использованием сервиса Google Colab, на основе Jupyter Notebook, который предоставляет бесплатный доступ к вычислительным ресурсам, включая графические процессоры (GPU) и тензорные процессоры (TPU, разработаны специально для задач машинного обучения). Сервис облегчает процесс работы с машинным обучением, предоставляя удобное и гибкое окружение для разработки и исполнения кода.

Использовались датасеты CIC-DDoS 2019 [2], Ton-IoT [3], EdgeIoT [4], являющиеся популярными в области кибербезопасности и интернета вещей и используются для анализа различных видов угроз и атак. Из датасета Ton-IoT выбран набор данных Windows, собранный с помощью средств мониторинга ОС Windows 10, и набор данных, собранный с IoT-сенсоров Fridge (умные холодильники).

Результаты исследования классификаторов

Результаты исследования алгоритмов классификации представлены в табл. 1–4.

Табл. 1. Значение Accuracy, полученное на различных датасетах

Датасет	Классификаторы						
	Тип ядра SVM				KNN	Decision Trees	MLP
	Linear	RBF	Poly	Sigmoid			
CIC-DDoS 2019	85	53	54,5	66,5	98,9	93,5	99,2
Ton_IoT (IoT Fridge)	98,8	97,78	97,82	97,77	97,56	98,42	98
Ton_IoT (Windows 10)	99,94	99,9	99,47	99,93	98,78	99,88	99,9
EdgeIoT	83,12	89,56	92,45	87,4	85,89	78,23	97,9

Табл. 2. Значение Recall, полученное на различных датасетах

Датасет	Классификаторы						
	Тип ядра SVM				KNN	Decision Trees	MLP
	Linear	RBF	Poly	Sigmoid			
CIC-DDoS 2019	99,4	99,1	99,2	99,1	58,8	49,7	57,5
Ton_IoT (IoT Fridge)	75,34	56	56,78	55,64	57,25	71,16	77
Ton_IoT (Windows 10)	87,2	86,7	82,87	87,02	85,22	98,95	99,22
EdgeIoT	83	86	82	84,21	90	92	95,31

Табл. 3. Значение F1-Score, полученное на различных датасетах

Датасет	Классификаторы						
	SVM				KNN	Decision Trees	MLP
	Linear	RBF	Poly	Sigmoid			
CIC-DDoS 2019	87,3	55,5	58,1	66,4	55	51	54,5
Ton_IoT (IoT Fridge)	77,5	53,41	55	52,27	57,22	72,3	79
Ton_IoT (Windows 10)	87,2	86,7	84,6	87,02	84,12	98,93	99,1
EdgeIoT	89	87,4	84,3	88,1	89	80,2	87,5

Табл. 4. Значение Precision, полученное на различных датасетах

Датасет	Классификаторы						
	SVM				KNN	Decision Trees	MLP
	Linear	RBF	Poly	Sigmoid			
CIC-DDoS 2019	66,3	99,5	99,6	66,3	99,5	53,4	74,6
Ton_IoT (IoT Fridge)	94,7	56,04	71,14	55	58,64	90,5	92,8
Ton_IoT (Windows 10)	99,68	99,35	99,2	99,54	95,6	98,92	99,02
EdgeIoT	96	95,4	95,13	95,42	88	73	89

Была проведена валидация экспериментальных данных путем сравнения их данными из открытых источников. Рассмотрено использование классификатора SVM с различными ядрами для обнаружения признаков DDoS-атак. Результаты сравнения представлены в табл. 5.

Табл. 5. Валидация экспериментальных данных на основе сравнения с открытыми источниками

Источник данных	Тип ядра SVM	Метрика			
		Precision	Recall	F1-Score	Accuracy
Экспериментальные	Линейное	0,9033	0,8511	0,8739	0,9943
Статья [5]	Линейное	0,89	0,83	0,86	0,99
Экспериментальные	Сигмоидальное	0,7440	0,6806	0,7068	0,9838
Статья [5]	Сигмоидальное	0,95	0,88	0,91	0,998
Экспериментальные	RBF	0,9849	0,7737	0,7900	0,9915
Статья [5]	RBF	0,71	0,69	0,9	0,99

Как видно из таблицы, данные имеют значительное сходство.

Заключение

Классификаторы показали значительно отличающиеся результаты на различных датасетах. Например, многослойный перцептрон (MLP) показал наилучший результат среди всех использованных в работе классификаторов на выборке из датасета Ton_IoT (Windows 10). При этом показал очень низкий результат на датасете CIC-DDoS 2019. Это еще раз показывает важность корректного подбора данных для обучения и тестирования моделей машинного обучения. Некоторые задачи классификации могут оказаться более сложными из-за неоднородности данных или мультиклассовости, что может отразиться на производительности модели. Также разные датасеты могут содержать различные характеристики, аномалии и дисбаланс классов, что влияет на способность модели обобщить данные и точность классификации. При этом в открытых источниках нет информации о рекомендованном для исследовательских целей датасете для обучения моделей обнаружению DDoS-атак IoT-ботнетов.

COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF CLASSIFICATION ALGORITHMS FOR DETECTING SIGNS OF DDOS ATTACKS BY IOT BOTNETS

S.N PETROV, S.A. SHAVLOVSKY, A.O. RODULEVICH

Abstract. A comparative analysis of the effectiveness of classification algorithms for detecting signs of DDoS-attacks by IoT-botnets has been carried out. A significant variation of classification results is shown depending on the dataset used, which indicates the importance of correct data selection for training and testing machine learning models.

Keywords: network attacks, DDoS, IoT-botnet, machine learning, network traffic classification.

Список литературы

1. Тенденции и аналитика DDoS-атак: обзор 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ddos-guard.net/ru/blog/tendentsii-ddos-atak-2023> Дата доступа: 05.04.2024.
2. CIC-DDoS2019 Dataset [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://data.mendeley.com/datasets/ssnc74xmbg/1> Дата доступа: 05.04.2024
3. The TON_IoT Datasets [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://research.unsw.edu.au/projects/toniot-datasets> Дата доступа: 05.04.2024
4. EDGE-IIOTSET: a new comprehensive realistic cyber security dataset of IoT and IIoT applications: centralized and federated learning [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://iee-dataport.org/documents/edge-iiotset-new-comprehensive-realistic-cyber-security-dataset-iiot-applications#files> Дата доступа: 05.04.2024
5. Dasari K.B., Devarakonda N. Detection of TCP-Based DDoS Attacks with SVM Classification with Different Kernel Functions Using Common Uncorrelated Feature Subsets [Электронный ресурс] – Режим доступа: DOI: <https://doi.org/10.18280/ijss.120213> Дата доступа: 05.04.2024

ANALYSIS OF HUMAN GAIT BALANCE BASED ON PLANTAR PRESSURE SENSORS

HAO LI

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

Received April 17, 2024

Abstract. This study presents a comprehensive analysis of human gait balance using plantar pressure sensors. The research aimed to enhance the understanding of gait mechanics through detailed pressure data obtained from various activities performed by healthy male subjects. Using plantar pressure sensors and *IMU* sensors, the study captured pressure distribution across multiple foot regions during a variety of controlled indoor activities. Advanced data analysis techniques, such as recurrence plots and similarity scoring between sensor positions, were employed to assess the stability and symmetry of gait patterns. The findings highlight the potential of plantar pressure sensors in identifying gait imbalances and contributing to personalized medical interventions.

Keywords: gait parameter, plantar pressure sensor, gait balance, recurrence plot.

Introduction

As society faces the challenges of an aging population and increasing sports related injuries, the study of human gait has received widespread attention. Gait balance is a key factor in assessing and maintaining an individual's ability to walk and is essential for preventing falls and related injuries. Plantar pressure sensors, as an effective technical tool, can provide a detailed understanding of pressure distribution throughout the gait cycle, helping researchers and medical professionals understand the mechanisms of gait stability and human movement.

Currently, many researchers have made progress in studying human balance using a variety of wearable sensors, such as algorithms based on computer vision [1] and algorithms based on acceleration sensors [2]. However, these algorithms primarily perform posture estimation and do not intuitively reflect gait parameters. Therefore, we systematically analyze and evaluate human gait balance using plantar pressure sensors, paying particular attention to the pattern of pressure changes throughout the gait cycle. This study will collect plantar pressure data from various subjects to analyze its correlation with gait stability.

In summary, this study aims to provide data analysis for the assessment and intervention of gait balance using plantar pressure sensor data. By delving into the potential of plantar pressure sensor technology, we expect to open up new research directions and application prospects.

Dataset analysis

The pressure sensor data in this paper are obtained from dataset [3]. These plantar pressure sensors are positioned at eight common pressure points across the plantar foot, including the heel, arch, metatarsal, and under the big toe, providing comprehensive coverage of locations where plantar pressure changes most dramatically during movement, as illustrated in the following Figure 1. In the dataset were collected from 30 healthy male subjects aged from 20 to 25 years, with no history of limb injury. Each subject wore shoes equipped with plantar pressure sensors, and *IMU* sensors were attached to various body parts including the head, arms, wrists, chest, right side pocket of pants, and upper shin side. Participants were then instructed to engage in 21 different indoor activities within a home environment. Researchers encouraged them to perform these activities as naturally as possible, mimicking their daily

routines. The activities included falling, brushing teeth, washing face, slicing, eating, washing dishes, folding clothes, sweeping, mopping, toileting, window cleaning, drinking water, hanging out clothes, ironing, using the computer, watching TV, jogging, walking, cycling, writing, and playing with a phone. As outlined in Table 1 below, the table enumerates the number and percentage of well segmented activity samples captured by the plantar pressure system in the dataset. Following the removal of noisy data, including transitional activities between different tasks.

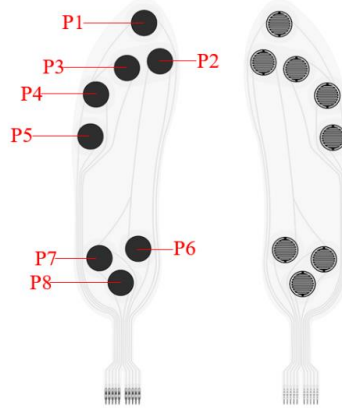


Figure 1. The planter pressure sensor

Table 1. Activity segmentation and distribution

Activity Categories	Number of Samples	Distribution	Activity Categories	Number of Samples	Distribution
Falling	1664	0,042	Toileting	1910	0,048
Brushing teeth	1934	0,049	Window cleaning	1897	0,048
Washing face	1917	0,048	Drinking water	1901	0,048
Slicing	1895	0,048	Hanging out clothes	1760	0,044
Eating	1899	0,048	Ironing	1794	0,045
Washing dishes	1919	0,048	Using the computer	2025	0,051
Folding clothes	2066	0,052	Watching TV	1945	0,049
Sweeping	1867	0,047	Jogging	1873	0,042
Mopping	1876	0,047	Walking	1906	0,042
Toileting	1910	0,048	Window cleaning	1897	0,048

Through data analysis, we display boxplots for all actions, as shown in the Figure 2. The figure presents boxplots for different activities, each measured by eight pressure sensors. The horizontal axis indicates the numeric values, representing the pressure data by the sensors, while the vertical axis labels the sensors numbered 1 to 8. For activities like using computer and watch TV, the sensor readings show a wide range of values, with some outliers indicating instances of high pressure. In contrast, activities like run and drink display a narrower spread and lower median values, suggesting less variation in sensor readings. The presence of outliers in activities such as wash face and play phone suggests that there were occasional high values during these activities.

We also have generated heatmaps of the sensors' placements for walking, running, falling, and cycling, as depicted in Figure 3.

These heat maps depict the average pressure distribution of smart insoles during various activities. Smart insoles typically incorporate multiple pressure sensors across different areas to monitor and record the pressure variations in the foot during various movements.

Starting with the top left heat map, during running, the sensor positions P3 and P4 show the highest average pressure values, at 792 and 612 respectively, indicating that these areas of the foot endure the most pressure while running. This may suggest that the middle part of the foot is the primary pressure point during this activity.

The bottom left heat map displays the pressure distribution while cycling. The distribution is relatively even, but the pressure peaks at sensor position P8 with a value of 560, possibly indicating that the force on the pedal is concentrated on the lateral side of the insole.

The top right heat map represents the pressure distribution during a fall, with $P3$ and $P5$ showing higher pressure readings of 354 and 365, respectively. This indicates that these areas receive a significant impact during a fall.

Lastly, the bottom right heat map corresponds to walking, where $P4$ and $P8$ positions register the highest pressures at 505 and 441, respectively. This could mean that the middle and the outer side of the foot are the first to make contact with the ground during walking.

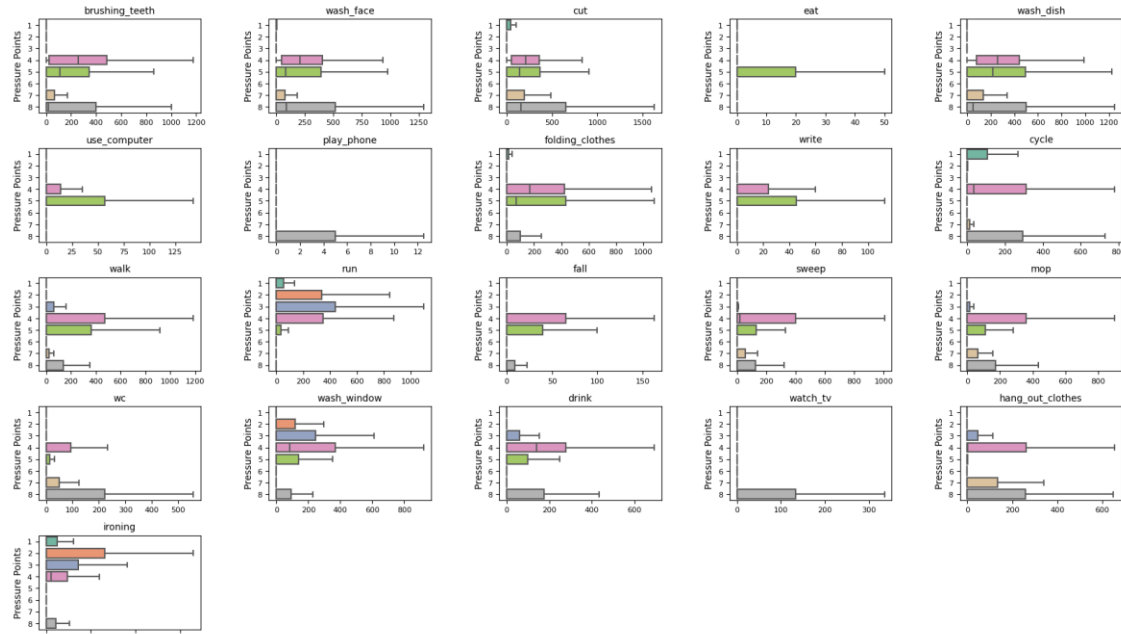


Figure 2. The boxplot of all activities for all plantar pressure sensors

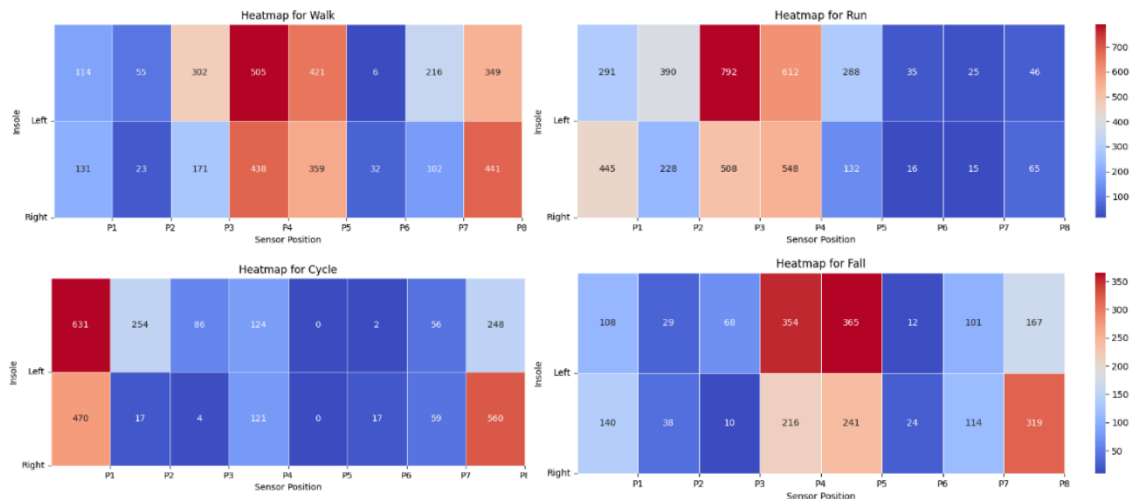


Figure 3. Heat map of average pressure for different movements of smart insoles

Gait balance analysis based on plantar pressure sensors

Gait balance analysis utilizing plantar pressure sensors offers a quantitative method to assess the stability and symmetry of walking patterns. By mapping the distribution of force across the foot during motion, these sensors provide detailed data on the biomechanics of gait.

1. Gait balance based on Recurrence plot (RP).

The Recurrence Plot (RP), developed by Eckmann [4], is one of the image encoding techniques for time series data. This visualization method illustrates the recurrence behavior between time points, highlighting patterns such as periodicity or irregular cyclicality, which are typical in nonlinear dynamical systems. Recently, RP has found widespread application in deep learning to convert univariate time series data into images. The PR formula is shown as

$$PR_L(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } \|p_{Li} - p_{Lj}\| \leq T \\ 1 & \text{else} \end{cases}, \quad (1)$$

$$PR_R(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } \|p_{Ri} - p_{Rj}\| \leq T \\ 1 & \text{else} \end{cases}, \quad (2)$$

$$P_L = \{p_{L1}, p_{L2} \cdots p_{LN}\}, \quad (3)$$

$$P_R = \{p_{R1}, p_{R2} \cdots p_{RN}\}, \quad (4)$$

where p_L and p_R are the time series pressure data of the left and right insoles. $k = 0, 1, 2 \dots 255$, N is the number of time samples of the insole signal. T is threshold, $\|\bullet\|$ is norm function. Here, we show the RP transformed image using the $P4$ sensor data from walking as an example, as illustrated in Figure 4.

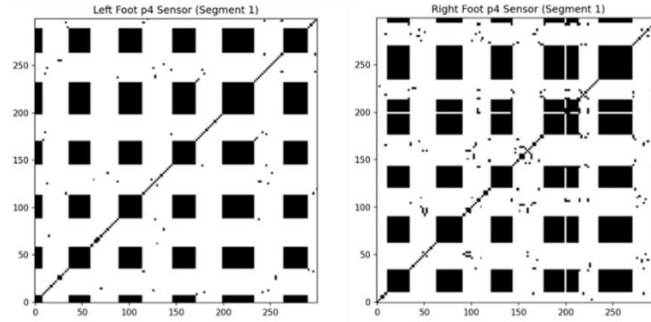


Figure 4. The RP transformed image based on pressure sensor during walking

When we get the recurrence plot, we use histogram calculation to calculate the similarity of the pictures of the left and right feet. The formula is as follows

$$Similarity_{L,R} = \sum_{k=0}^{255} \min(H_{normL}(k), H_{normR}(k)), \quad (5)$$

$$H_{norm}(k) = \frac{H(k)}{N_{total}}, \quad (6)$$

$$H_{total} = N \times N, \quad (7)$$

$$H(k) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N 1_{\{IRP(i,j)=k\}}, \quad (8)$$

where $k = 0, 1, 2 \dots 255$, $IRP(i, j)$ is the intensity of the pixel at the position (i, j) in the image. $N \times N$ is the size of the image, and 1 is the indicator function, which is 1 if $IRP(i, j) = k$ and 0 otherwise. The similarity of different activities across various sensors is presented in Table 2.

Table 2. The similarity of different activities across various sensors

Sensors and activity	Similarity
Left walk $p4$ and right $p4$ walk	0.97
Left walk $p4$ and right $p2$ walk	0.39
Left walk $p4$ and right $p6$ walk	0.65
Left walk $p5$ and right $p4$ run	0.68
Left run $p3$ and right $p3$ run	0.94
Left walk $p3$ and right $p4$ run	0.82

The Table 2 presents a comparison of similarity scores between different activities and sensor positions for left and right sides, presumably in a smart insole context. A similarity score close to 1 indicates a high degree of resemblance in pressure patterns between the two compared activities or sensor positions. The highest similarity score is between the left and right $p4$ sensors during walking (0,97), which suggests that the pressure distribution pattern is almost identical on both the left and right sides of the body when the foot contacts the ground at position $p4$. In contrast, the left walk $p4$ and right $p2$ walk have a similarity score of 0,39, indicating a low resemblance, which could be due to different parts of the foot being used or a natural asymmetry in gait. A moderate similarity is observed between the left walk $p4$ and right $p6$ walk (0,65), which could indicate that these sensor positions, while not identical, still share some common pressure characteristics during walking. Cross activity comparisons, like left walk $p5$ and right $p4$ during running, show a similarity of 0,68, suggesting a moderate correlation, possibly because similar forces are applied to these positions across walking and running. High similarity is found between the same sensor position during the same activity on opposite sides, such as left run $p3$ and right $p3$ run (0,94), implying consistent pressure patterns during running, which is expected in a well balanced gait. Lastly, left walk $p3$ and right $p4$ run have a similarity of 0,82, which is quite high considering they are different activities. This could indicate that certain aspects of the gait, like the transfer of weight or foot roll, are maintained across walking and running.

2. Gait balance based on gait parameters.

2.1. Average contact time (ACT) is a crucial metric in gait analysis, reflecting the duration for which the foot remains in contact with the ground during a step. It is an indicator of gait stability and efficiency, where longer contact times may suggest a more deliberate gait, while shorter times may indicate a brisk, possibly less stable gait. The calculation of ACT involves recording the start and end times of contact for each step during a walk and averaging these across the number of steps taken (NS). The formula for ACT is

$$ACT = \frac{\sum_{j=1}^{NS} (T_{end,j} - T_{start,j})}{NS}, \quad (9)$$

where NS is the number of steps, $T_{end} = time(p_i = 0, p_{i-1} > 0)$.

2.2. Step frequency (SF) is a measure of how many steps a person takes per minute and is an important parameter in assessing walking and running patterns. It is determined by dividing the total number of steps taken by the total time of the walking or running session, which provides insight into the cadence of a person's gait. A higher step frequency can indicate a quicker, more agile gait, while a lower frequency may reflect a slower, more measured pace. The formula for SF is

$$SF = \frac{NS}{T_{total}} \times 60, \quad (10)$$

where NS is the number of steps, T_{total} is the total time (minutes).

2.3. Gait cycle duration (GCD), also known as the complete cycle duration, represents the full cycle of a gait from the initial contact of one foot to the next contact of the same foot. This duration encompasses both the stance phase, where the foot is in contact with the ground, and the swing phase, when the foot is in motion. The GCD is pivotal for analyzing the overall rhythm and timing of a person's walk, with implications for identifying gait abnormalities or the effects of rehabilitation. The formula for GCD is

$$GCD = ACT \times 2, \quad (11)$$

where ACT is the average contact time, which is the time one foot is in contact with the ground during a single step.

2.4. The average single support phase duration ($ASPD$) is an important gait parameter that represents the average time period within a gait cycle where only one foot is in contact with the ground. This phase is crucial for understanding balance and weight transfer during walking or running. The $ASPD$ is calculated by summing the durations of the single leg support phases for each step and then

dividing by the total number of steps, providing a mean value that reflects the stability and efficiency of a person's gait. The formula for *ASPD* is

$$ASPD = \frac{\sum_{j=1}^{NS} (T_{sg}(j))}{NS}, \quad (12)$$

where T_{sg} is the duration of the single leg support phase for step j .

In the Table 3 lists the gait parameters for both left and right feet of different users. Various gait parameters are enumerated in the table, primarily aiming to detect the balance of users' gait by observing whether the parameters of the left and right feet are balanced.

Table 3. Comprehensive gait analysis metrics for left and right foot dynamics

Subjects	Gait parameters									
	<i>ACT</i>		<i>SF</i>		<i>GCD</i>		Average peak		<i>ASPD</i>	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
01	1060	1139	56	52	2120	2279	1227	1164	462	540
02	1114	1126	53	53	2228	2252	1027	1193	470	461
03	1145	989	52	60	2290	1978	1804	1483	422	290
04	1361	1258	44	47	2722	2517	1491	1719	624	420
05	1069	2021	56	58	2139	2042	1429	1516	414	291
06	1045	1087	57	55	2090	2175	1127	986	354	295
07	1085	1350	55	44	2170	2701	894	565	494	882
08	994	1094	63	55	1889	2189	1411	1282	183	378
29	1027	2063	58	29	2054	4126	575	192	478	1837
30	1129	1097	53	54	2258	2194	733	603	432	572

Table 3 provides a comparative analysis of key gait parameters for both the left and right feet across different subjects, aiming to identify gait imbalances. It includes metrics such as *ACT*, *SF*, *GCD*, average peak pressure, and *ASPD*. Substantial differences between the left and right foot parameters, such as the *ACT* in Subject 05 (1069 left and 2021 right), clearly indicate an imbalance in gait symmetry. Such disparities are critical for diagnosing biomechanical abnormalities and can guide interventions for improving gait stability and efficiency.

Conclusion

The research detailed in this paper significantly advances the understanding of human gait dynamics through the application of plantar pressure sensors. Our analysis successfully demonstrated the ability of these sensors to map the force distribution across the foot during various activities, providing invaluable insights into the biomechanics of human movement. The use of recurrence plots allowed for a nuanced representation of temporal patterns, offering a new perspective on the consistency and variability of gait cycles among different individuals. Importantly, the similarity assessments across various activities and sensor positions revealed critical insights into the symmetrical and asymmetrical aspects of gait, which are vital for diagnosing and treating gait related disorders.

References

1. Jiang P., Ergu D., Liu F., et al. // *Procedia Computer Science*. 2022. Vol. 199. P. 1066–1073.
2. Li H., Ma J., Ren X., et al. // *Pattern Recognition and Information Processing*. 2023. P. 169–175.
3. Luo B., Qiu Q., Zhu T., et al. // *International Conference on Intelligent Information Processing*. Cham: Springer Nature Switzerland. 2024. P. 87–100.
4. Casdagli M. C. // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. 1997. Vol. 108(1–2). P. 12–44.

CRIMP WHEEL EXTRACTION OF IRIS IMAGES DURING IRIS DIAGNOSIS

ZHAO YI'AN

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus**Received March 28, 2024*

Abstract. Iris diagnostics is a method based on the recognition of patterns in the eye's iris to identify an individual's health status, genetic information and other relevant characteristics. One of the most distinctive features of the iris is the constrictor, located in the middle of the iris, surrounding the pupil. It is important for iris diagnosis because its shape, size, and other characteristics can reveal an individual's physical health.

Keywords: recognition of patterns, iris diagnosis, constrictor.

Introduction

The crimping wheel is an important tool in iris diagnosis, used to extract and analyze feature information in iris images. Iris diagnosis is a method of judging an individual's physical and psychological condition by observing and analyzing the texture, color, and structure of the human eye's iris. It is widely used in fields such as medicine, biometrics, and psychology.

A shrink wheel is a filter used in image processing that has multiple filter windows of different sizes and orientations. In iris image processing, the crimping wheel is used to detect and extract the features of iris texture, which can be used for iris recognition, disease diagnosis, and individual feature analysis.

The working principle of the shrink wheel is to filter the image at different scales and directions to extract characteristic responses at different scales and directions. In iris images, the crimping wheel can help identify and extract information such as the details of the iris texture, the distribution and shape of the texture. By analyzing and comparing the extracted features, applications such as iris recognition, disease detection, and individual feature analysis can be realized.

The application of the crimping wheel in iris diagnosis also includes the extraction and matching of iris features for establishing an iris recognition system. By applying the crimping wheel to each image in the iris image library, its feature vector can be extracted [1], and then the comparison and matching algorithm of the feature vector is used to realize the identification and verification of the iris. This feature extraction and matching method is widely used in iris recognition technology.

Crimp wheel extraction based on structural pattern

In pattern recognition, a method that uses basic element structures (primitives) and the structural relationships between primitives to describe patterns and complete the recognition and classification process is called structural pattern recognition [2]. Through a large number of observations of existing iris images, it can be found that there are boundary areas with drastic changes in grayscale in the iris part of the image, and most of these areas with drastic changes in grayscale exist in a few pixels. The study found that the most drastic changes in grayscale The part is around the inner edge of the iris image, which is a boundary in the iris image. However, compared with the pupil boundary edge, the grayscale of the shrink wheel shows a slowly changing trend within a certain pixel range. Compared with the non-border area There are also many pixels with large grayscale changes. As shown in Figure 1, the pupil area is between the 40th pixel and the 95th pixel, and the curling wheel area is between the 20th and 40th pixels. The curve in the figure Reflects the change in grayscale around the constriction wheel and around the pupil. In order to better find the boundary point [3], this paper approximately defines the

center point within the boundary range as the boundary point of the image within the range, that is, using the basic element structure to count the image range with the largest change in the curling wheel texture in the iris image, and at the same time defining Two modes: border mode and non-border mode, and use the sliding window method to count the number of times each of the two modes appears in the window, find the window containing the curling wheel texture through the rules of the number of occurrences of each mode, and complete the curling Round extraction.

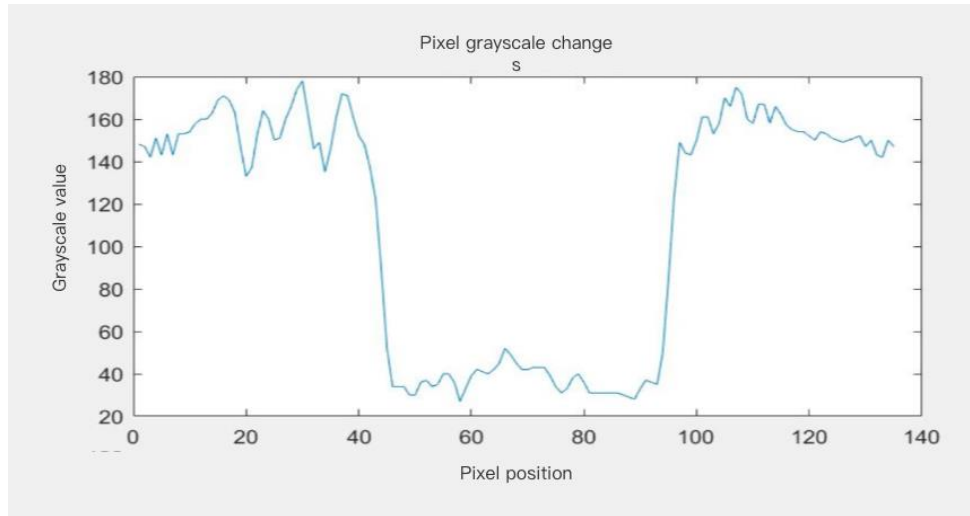


Figure 1. Boundary area grayscale changes

Iris preprocessin

Due to the unique structural characteristics of the human eye, iris extraction is easily affected by lighting, collection angle, environment and other factors. In order to correct the elastic deformation problem caused by this and eliminate the impact of translation and rotation on iris feature extraction, it is necessary to collect the iris features. The image is preprocessed, including iris positioning and normalization. The specific extraction process is shown in Figure 2.

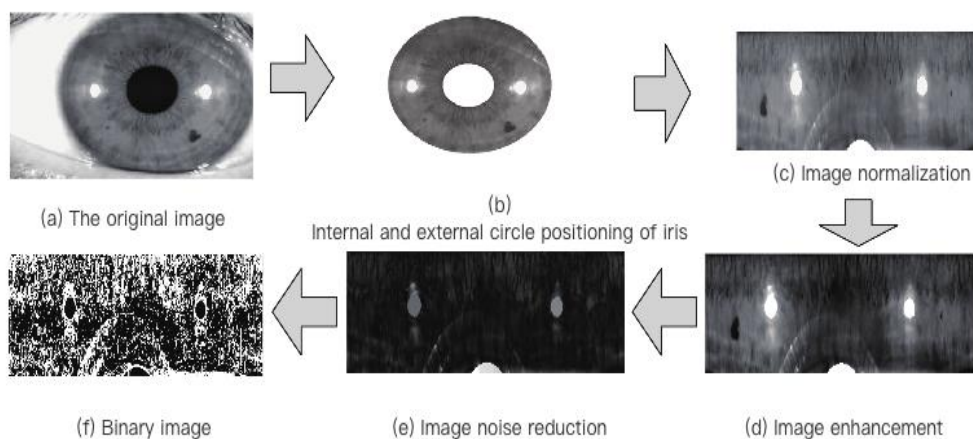


Figure 2. Extraction process

Crimping wheel extraction implementation

Select a 15×15 window and slide it along the direction of Figure 3 on the normalized image. In the same window, if the boundary mode appears more often, the non-border mode will appear less often, and vice versa. In order to achieve an accurate description, the boundary point on a certain column is determined by using the quotient of the number of occurrences of the boundary pattern within the

window and the number of occurrences of the non-border pattern within the window [4], and the quotient is recorded as B.

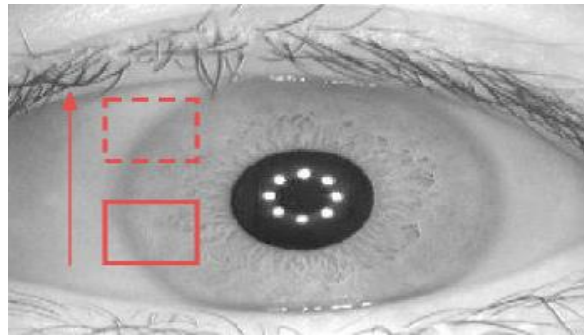


Figure 3. Window sliding direction

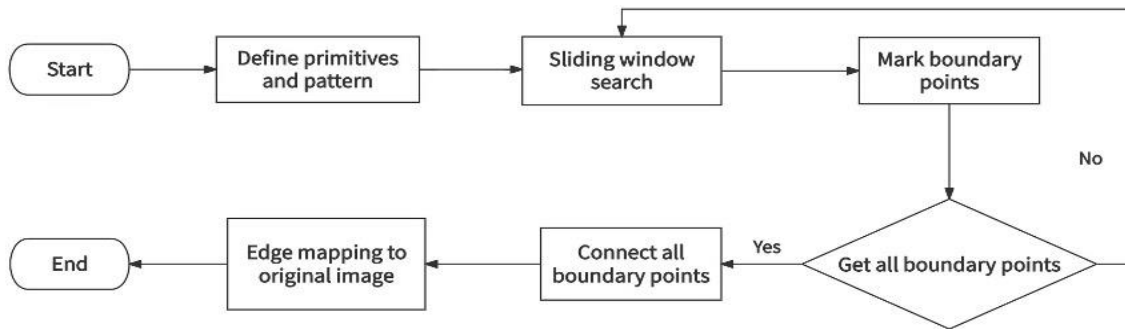


Figure 4. Curled round extraction flow chart

The extraction steps of the crimping wheel are as follows, and the extraction flow chart is shown in Figure 4.

First, use a 15×15 window to slide on the normalized image in the direction, count all B, record the maximum value, and save the center point of the window where the maximum value of the quotient is located, which is the boundary point of the column.

Second, move the window one pixel to the right and repeat the above steps until the image is traversed and all boundary points are found.

Third, connect all the boundary points and map them to the original image, which is the calibrated shrinking wheel.

Experimental results and analysis

The results of the curling wheel extraction are shown in Figure 5. It can be seen from the figure that the curling wheel outline extracted by this algorithm covers the entire curling wheel area, basically outlines the outline shape of the curling wheel, and is not affected by the eyelashes above the iris interference.

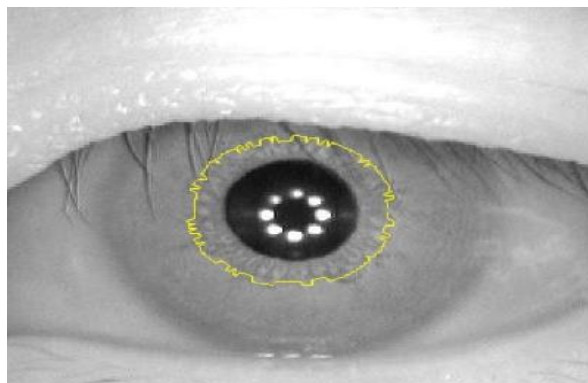


Figure 5. Curled round extraction

Conclusion

As a combination of traditional Chinese medicine visual examination and western medicine iridology, iris diagnostics plays a huge role in the field of human sub-health evaluation and disease prevention. It has gradually been valued by various countries in the world. As a subject that has attracted widespread attention from the world, iris diagnostics has developed an iris-assisted diagnosis system based on this discipline has become an inevitable trend. Crimping wheel extraction is a key step in the iris diagnosis process. Deep learning algorithms can quickly and automatically identify and extract key features such as crimping wheels from a large number of iris images, significantly improving the speed of analysis and batch processing. The use of deep learning to extract crimped wheels in iris diagnosis is not only a technological advancement, but its practical significance and application value involve many aspects such as medical health, safety certification, and technological innovation. It is an important step in the current and future field of artificial intelligence. one of the research directions.

References

- 1.Guodong X, Wei W. // Research on iris constriction wheel extraction method. Computer Engineering and Design. 2008. Vol. 29. P. 2290-2292.
- 2.Weiqi Y, Bingwen Y, Xiao S, Hai T. // Iris curling wheel detection method based on gradient extreme value. Computer Engineering. 2014. Vol. 40. P. 162-165.
- 3.Feixia D. // Eye syndrome differentiation and iris diagnosis. Journal of Changchun University of Traditional Chinese Medicine. 2010. Vol. 26. P. 8-9.
- 4.Yuan G. // Research on feature extraction method of iris texture. Shenyang University of Technology. 2015. VOL. 15. P. 11.

BATMAN-ADV AN ENERGY-EFFICIENT WIRELESS ROUTING PROTOCOL FOR DYNAMIC AD HOC NETWORKS

WEI ZIJIAN, ZENG PENG, WANG YING

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus**Received March 29, 2024*

Abstract. BATMAN-ADV is a wireless routing protocol operating at the data link layer of the OSI model. It transmits routing information using Ethernet frames and utilizes MAC addresses for node identification. With the ability to run multiple protocols at the network layer, BATMAN-ADV offers flexibility and scalability. By functioning as a Linux kernel module, it minimizes CPU overhead and energy consumption. This makes it a favorable choice for energy-sensitive MANNET systems.

Keywords: BATMAN-ADV, Linux kernel module, MANNET.

Introduction

BATMAN-ADV (Better Approach to Mobile Ad-Hoc Networking Advanced) is a new wireless routing protocol. The protocol runs on the data link layer of OSI model in the form of Linux kernel module, and transmits routing information through Ethernet frame. Each node is identified by MAC address instead of IP address for communication. The network layer is free to run a variety of protocols, with better flexibility and scalability.

Most wireless routing protocols run on Layer 3 of the model. They send packets, exchange routing information, and process the kernel's routing table to implement routing policies. BATMAN-ADV operates entirely at the second layer of the model, transmitting routing information through Ethernet, and the protocol also handles data traffic. The protocol encapsulates and forwards all data until it reaches its destination, simulating a virtual network exchange environment [1]. As a result, all nodes act as if they are in a local link; they are not aware of the topology of the network and are not affected by changes in the network.

The BATMAN-ADV routing protocol is essentially an integrated module of the Linux kernel, and data is processed in the kernel space, which greatly reduces the overhead of system CPU resources and correspondingly reduces energy consumption. The vehicle node of the tactical MANNET system is very sensitive to the weight, volume and energy consumption of the electronic equipment, so the choice of this protocol is very advantageous.

Packet classification

The BATMAN-ADV protocol has eight packet formats:

BATADV_IV_OGM: OriginatorMessage (Source node message) is used to discover nodes in the wireless environment and establish routing information. At the same time, the protocol determines the metric value based on the number of legitimate messages received. This is the most important packet format, its main functions are: to the whole network other nodes to show their own existence; The route measurement is carried out by counting the received OGM messages [2]. The corresponding route is established through OGM messages.

BATADV_BCAST: Packet with broadcast payload, which is broadcast information to all nodes, since it is implemented at the data link layer, sent to nodes in the same conflict domain;

BATADV_CODED: This is a network coded packet. It uses network coding technology to combine two packets into one transmission process to reduce the total transmission time.

BATADV_UNICAST: A packet with a unicast payload, which is sent to a single node with a MAC address as its ID;

BATADV_UNICAST_FRAG: If the length of the - packet exceeds the value of the link, the packet needs to be fragmented. In this packet, in addition to the payload, there is also fragmentation information;

BATADV_UNICAST_4ADDR: unicast packet that contains the source address of the sender in addition to the payload;

BATADV_ICMP: Similar to ICMP in the IP protocol, the ping or traceroute command can be used at the data link layer (the return message is a MAC address).

BATMAN-ADV route discovery mechanism

The main function of the BATMAN-ADV routing protocol is to find the appropriate next hop for a given destination node. In other words, for a node running the BATMAN-ADV routing protocol in the network [3], it needs to maintain information about all reachable nodes in the whole network, and for each reachable node, it needs to maintain information about all neighboring nodes that can reach the node. Transmission Quality (TQ) is adopted. Link quality) Measures the transmission quality of the path. The neighbor node with the highest TQ is the next hop of the route.

The BATMAN-ADV routing protocol runs in the following parts:

(1) Each node broadcasts an OGM (Original Message) message;
 (2) When a node receives an OGM message from another node, it forwards it according to the policy so that the OGM message can be spread to the whole network. Therefore, according to the source node of the detection packet, all the nodes that can be reached in the whole network can be known, and the relevant information of these nodes can be maintained, and the path of all the reachable nodes can be obtained.

(3) In a wireless multi-hop network, there may be multiple reachable paths for a given destination node. Therefore, for each reachable node, maintain a list of local neighbors that are reachable to the node, and perform appropriate routing metrics on each path to select the best path for routing.

Operation mechanism

For the node running the BATMAN-ADV routing protocol, it will periodically broadcast OGM packets [4]. Its main functions are: (1) to show its existence to other nodes in the whole network; (2) Route measurement is carried out by statistics of legitimate OGM messages received; (3) Establish the corresponding route through OGM messages.

The format of the OGM frame is shown in Figure 1.

Type	version	Survival time	Flag
Serial number			
Source node mac address (first four bytes)			
Last two bytes of the mac address of the source node		Last two bytes of the mac address of the previous hop	
Last-hop mac address (last four bytes)			
Reserved field	TQ	TVLV length	

Figure 1. OGM frame format

Type is the type that distinguishes packets. Version is the version number of the protocol. The serial number is used to identify whether the same OGM packet is received from multiple places. Time To Live (TTL) is the maximum number of forward hops before they are discarded [5].

After receiving OGM packets from other nodes, each node broadcasts the OGM packets to the outside through the corresponding forwarding mechanism, so that the OGM messages sent by one node can flood to all nodes in the whole network. To reduce the overhead of message flooding, each node receives the same OGM packet only once.

After receiving an OGM packet from an interface, a node processes the packet, including determining whether the packet is valid and determining the relationship between the local node and the source node. Each time a node receives an OGM packet, it updates the information in the routing table. The main contents of the update are: (1) The link quality between the local node and the one-hop neighbor; (2) List of source nodes reachable by local nodes; (3) For each source node, the next hop neighbor node quality of all reachable paths; (4) Information about local network interfaces that reach all neighboring nodes.

As shown in Figure 2.

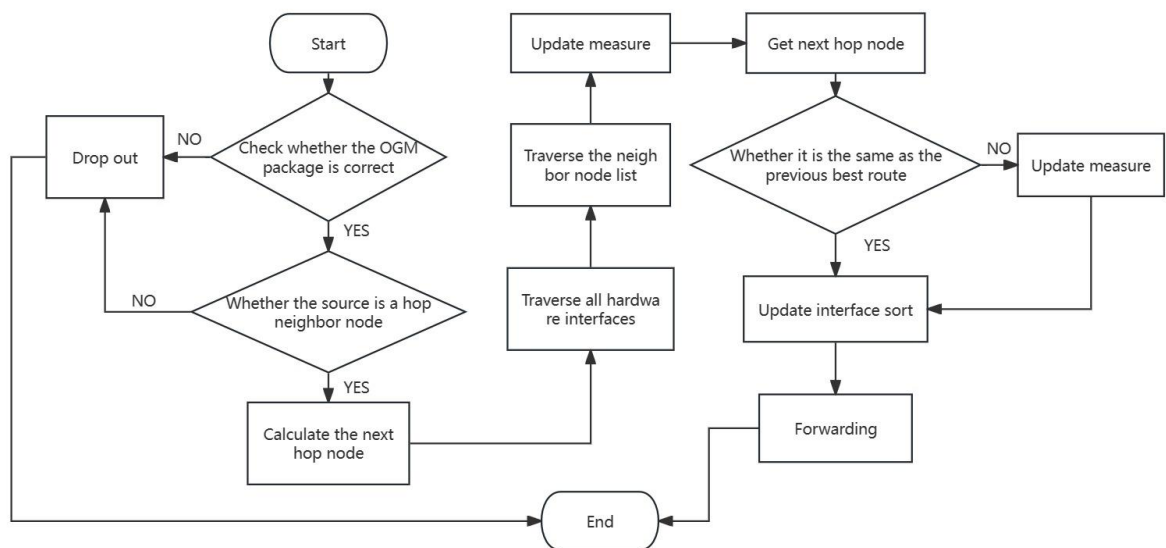


Figure 2. Operation when a node receives an OGM packet

Application of BATMAN-ADV protocol in wireless AD hoc network

Discovering the AD hoc topology: BATMAN-ADV collects and exchanges neighbor information of nodes to automatically build and maintain the AD hoc topology [6]. Nodes can join or leave the network dynamically without manually configuring routing information. This makes the deployment and management of AD hoc networks easier and more flexible.

Multipathing and load balancing: BATMAN-ADV supports multipath routing, that is, packets can be transmitted to their destination through multiple different paths. This improves the reliability and fault tolerance of the network, and enables load balancing, making the transmission of data across the network more efficient.

Network extensibility: BATMAN-ADV allows nodes in the network to join and leave freely without complex configuration or management. This allows the scale of the network to be flexibly scaled according to demand, suitable for a variety of scenarios, such as mobile sensor networks in cities, emergency communications at disaster sites, etc.

Low power consumption: The BATMAN-ADV protocol is designed with energy efficiency in mind, reducing the CPU overhead and energy consumption of the system through data processing and transmission in the kernel space. This is particularly important for mobile devices and sensor nodes in wireless AD hoc networks, extending their battery life and improving the sustainability of the system.

Conclusion

The application of BATMAN-ADV in wireless AD hoc networking makes network deployment more simple, more scalable, with multipath and load balancing capabilities, and can reduce energy consumption, and is suitable for a variety of mobile and dynamic network environments.

References

1. L. Liu, J. Liu, H. Qian, and J. Zhu, "Performance Evaluation of BATMAN-Adv Wireless Mesh Network Routing Algorithms," 2018 5th IEEE International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud)/2018 4th IEEE International Conference on Edge Computing and Scalable Cloud (EdgeCom), Shanghai, China, 2018, pp. 122-127, doi: 10.1109/CSCloud/EdgeCom.2018.00030.
2. ZHAO Zhihao, CHEN Yabing, ZHANG Jian. "Multi-hop wireless network research based on BATMAN-adv." *Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology*, 2021, 19(3): 433-437.
3. Oh, Minseok. "An Effective, Secure, and Loop-Free Mesh Network Implementation." *Information; Koganei* Vol. 17, Iss. 5, (May 2014): 1913-1919.
4. J. Lin, Z. Liu, and J. Dai, "Research and Optimization of Wireless Mesh Network Routing Protocol with Multiple Criteria," 2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), Chengdu, China, 2019, pp. 72-78, doi: 10.1109/IAEAC47372.2019.8997932.
5. B. Sliwa, S. Falten, and C. Wietfeld, "Performance Evaluation and Optimization of B.A.T.M.A.N. V Routing for Aerial and Ground Mobile Ad Hoc Networks," 2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring), Kuala Lumpur, Malaysia, 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/VTCSpring.2019.8746361.
6. E. Kulla, M. Ikeda, L. Barolli, and R. Miho, "Impact of Source and Destination Movement on MANET Performance Considering BATMAN and AODV Protocols," 2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, Fukuoka, Japan, 2010, pp. 94-101, doi: 10.1109/BWCCA.2010.54.

ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ЖИЗНИ И В ЖКХ

И.В. ТИМОШКЕВИЧ, К.А. ПОЛТАВЦЕВ

Государственное научное учреждение «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси», Республика Беларусь

Поступила в редакцию 21 марта 2024

Аннотация. В статье раскрывается понятие «интернет вещей», описываются возможности использования данной технологии во всех сферах деятельности человека, наиболее подробно рассмотрена сфера жилищно-коммунального хозяйства, плюсы и минусы от IoT-технологии. Основные выводы от применения IoT-технологий для увеличения экономической выгоды.

Ключевые слова: интернет вещей, IoT-датчики, локальные сети, цифровизация экономики, метод проблемного обучения, интерактивное образование.

Введение

Тема является актуальной так как количество устройств Интернета-вещей и данных, которые они производят растет каждый день: некоторые решения могут производить до петабайта данных и поддерживать подключение миллиона устройств одновременно. Для обработки такого объема данных необходимы огромные вычислительные ресурсы, обслуживание и размещение которых дорогостояще и неудобно. Поэтому необходимо пользоваться услугами облачных провайдеров, они предоставляют вычислительные ресурсы, обслуживают оборудование и сэкономят значительные средства. В связи с вышесказанным актуальность в востребованности использования технологий Интернета-вещей в мире, а также в необходимости обучения данной технологии очевидна. Так же необходимо подчеркнуть то, что данная технология успешно развивается и создаются Умные дома, умные города благодаря датчиком IoT, что позволяет контролировать в онлайн режиме состояние температур влажности, теплопоступления, теплопотерь, утечек в водопроводах, утечки газа, и локализовать опасность до ее аварии.

Понятие и сущность интернета вещей

Интернет вещей (IoT, Internet of things) – глобальная сеть устройств, которые оснащены средствами связи друг с другом. Среди них могут быть как активные участники сети – чипы, или устройства для умного дома, так и пассивные [1].

Система IoT работает за счет сбора и обмена данными в режиме реального времени. Архитектура интернета вещей состоит из трех уровней принцип работы представлен на рис. 1:

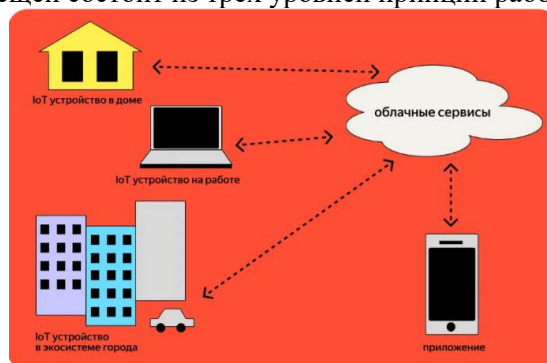


Рис. 1. Иллюстрация принципа работы IoT

1. Смарт-устройства могут быть любые устройства, которые содержат коммуникационный блок. Например, модем 4G, bluetooth, или специальный протокол низкого потребления, который годами работает на одной батарее. Главное, чтобы устройство могло выходить в сеть.

2. Приложение IoT. Это набор сервисов и программных продуктов, объединяющих данные, полученные от различных устройств Интернета вещей, и управление этими устройствами. В основном для обработки данных используют две модели: вендоры и локальные сети.

Вендор – устройства, которые продаются под брендом. Обращения к вендору в большей степени относятся к медицине, так как там особенно важна врачебная тайна. Вендор предоставляет умные устройства – пациентам и клиникам, но не предоставляет доступ к данным устройства, используя только собственные протоколы обмена. То есть включает умные устройства в собственную изолированную сеть, и данные остаются под защитой.

Локальные сети – это объединение устройств между собой. Сети образуют узлы или хабы, которые позволяют подключить их к интернету. Обычно такой подход характерен для слабощных устройств, например, для датчиков сигнализации, работающих на одной батарее весь год. Устройство связывается только с локальным хабом, и только после того, как передача данных прошла, хаб либо обрабатывает данные интернета вещей самостоятельно, либо отправляет их вендору. Недавно в РФ, в Яндекс Алисе выпустили новую экосистему, где умный хаб встроен сразу в виртуального помощника. Тогда как раньше умные лампочки подключались к интернету через вендора и только потом переходили в управление к Алисе.

3. Графический интерфейс. Некоторыми устройствами Интернета вещей, можно управлять через пользовательский интерфейс (Программное обеспечение как на ПК, так и на Андроид устройстве). Так, у простого датчика в кардиостимуляторе не будет какого-то экрана(интерфейса), а вот в устройствах для умного дома без него не обойтись. Хаб упрощает быт: достаточно взглянуть на экран, чтобы проверить – закрыты ли окна, узнать – пасмурно или солнечно за окном, включена ли лампочка и какое давление в трубах, есть ли протечки, температура окружающей среды помещения, контроль утечек газа. Датчики температуры, размещенные в разных частях комнаты, могут быть отображены на хабе в виде температурной диаграммы.

Рассмотрим популярные области применения интернета вещей:

1. Умные дома. Раньше умный дом было сделать не просто. Сегодня датчик, микрочип с батареей и каналом связи bluetooth может быть Internet of things системой. Датчики контроля температур, давления, утечек газа, воды, прописываются команды(программируются) и информация поступает на интерфейс телефона или компьютера. И никаких лишних проводов, и громоздких конструкций.

2. Носимые устройства. Это устройства, который располагается на теле человека и позволяют обмениваться данными с глобальной сетью и другими устройствами по технологии Интернет вещей.

3. Медицина. Кардиостимуляторы и зонды годами находятся в теле человека и передают информацию. Следовательно, не нужно делать операцию, чтобы получить данные о работе сердца или других органов. Умные весы могут отслеживать изменения веса, оповещая об этом в приложении. Так же существуют анализаторы химического состава пота для спортсменов и датчики, фиксирующие показатель сахара в крови.

4. Транспорт. Примером технологии интернета вещей здесь могут быть умные датчики, встраиваемые в колеса поездов, чтобы с помощью ультразвука контролировать их целостность. Оператор использует приемник, который считывает состояние и оценивает возможные угрозы. Это действие помогает избежать многих аварий на железных дорогах.

5. Интернет вещей оказывает широкое влияние на профессиональную и личную жизнь человека. Использование технологии Интернета вещей упрощает жизнь, но есть риск утечки данных.

Преимущества и недостатки от применения IoT-систем

Преимущества от применения систем Интернета вещей:

1. Общая оптимизация ресурсов. Например, человек выходит из дома, хаб может отключить кондиционер и тем самым уменьшить расход электроэнергии. А если на улице

слишком солнечно – он заодно прикроет окна, чтобы помещение не сильно нагрелось, пока никого нет дома.

2. Улучшение качества жизни. Технология Интернета вещей позволяет отдать машинам на выполнение рутинную работу и утомительные задачи. Умные технологии даже могут привить привычки. Чтобы по утрам было легче вставать, умный дом автоматически включит кофемашину и откроет жалюзи, как только сработает будильник.

3. Эффективность. Взаимодействие между устройствами, повышает эффективность процессов и экономит время людей, позволяя им работать над другими задачами.

4. Автоматизация. Автоматизированное выполнение единообразных задач может повысить качество обслуживания и снизить потребность в человеческом вмешательстве.

5. Снижение издержек. Повышение эффективности и автоматизация процессов может позволить сократить как отходы, так и трудозатраты, что удешевляет производство и доставку товаров.

6. Контроль качества. IoT улучшает обмен данными между устройствами и обеспечивает лучший контроль качества.

7. Прозрачность. Возможность доступа к информации из любого места и любое время, с любого устройства упрощает принятие решений.

Недостатки от применения систем Интернета вещей:

1. Зависимость от инфраструктуры, интернета и каналов связи. К примеру, в Москве умный дом работает исправно, то уже в Смоленской области многие гаджеты недоступны из-за сбоев в подключении. У умного дома много плюсов, но, когда нет сети, он превращается в ненужную вещь. То же самое касается и других устройств IoT.

2. Конфиденциальность. Иногда вендоры оставляют за собой право использовать полученные данные в своих целях. Например, учитывают проблемы пользователей и показывают им необходимую рекламу. Изготовители серьезно относятся к этой проблеме и работают над обеспечением безопасности пользователей. Возможно, в будущем за сохранность пользовательских данных будет отвечать нейросеть.

3. Совместимость. Отсутствие международных стандартов совместимости может привести к проблемам при совместной работе оборудования разных производителей.

4. Снижение количества рабочих мест. Интернет вещей ускоряет автоматизацию, это может привести к сокращению числа необходимых рабочих мест.

5. Сложность. В огромной сети интернета вещей всего один программный или аппаратный сбой может привести к катастрофическим последствиям.

6. Конфиденциальность и безопасность. Из-за большого количества подключенных к Интернету устройств, используемых каждый день, в сети будет храниться большой объем информации. Это создает риски для конфиденциальности и безопасности.

Ниже приведен список основных проблем конфиденциальности и безопасности, связанных с интернетом вещей:

1. Большой объем данных. Устройства IoT генерируют огромное количество данных. Это создает возможные точки входа для злоумышленников и повышает уязвимость конфиденциальной информации.

2. Нежелательный общедоступный профиль. Использование устройств Интернета вещей обычно предполагает принятие условий использования. 90 % людей нажимают на кнопку «Я согласен», не читая эти длинные документы. Компании собирают различную информацию о пользователях с помощью устройств IoT. К примеру, страховые компании могут получать данные о стиле вождения от "умных" автомобилей и использовать их для расчетов сумм страхования жизни. Аналогичная ситуация с фитнес-браслетом.

Прослушивание. Производители и злоумышленники могут использовать подключенные устройства для прослушивания в домах пользователей.

IoT тесно связана с жилищно-коммунальным хозяйством: Внедрение Интернета вещей заключается в подключении проводных и беспроводных датчиков к различным объектам инфраструктуры. Сбор мусора и его вывоз, управление лифтами, техническое обслуживание зданий – вот лишь некоторые из основных сценариев применения датчиков в сфере жилищно-коммунального хозяйства [2].

Применение Интернета вещей в жилищно-коммунальном хозяйстве

ЖКХ сфера охватывает следующие направления:

- снабжение электроэнергией, газом, теплом, водой и водоотведение;
- системы анализа потребленных ресурсов и услуг;
- сбор и утилизация мусора;
- лифтовые услуги;
- капитальный ремонт и техническое обслуживание зданий;
- уборка общественных мест, улиц и придомовых территорий, дорог.

Применение IoT-технологий в ЖКХ предполагает использование различных объектов (домов, коммерческих зданий, квартир, контейнеров для ТБО (твердые бытовые отходы), мусоровозов, снегоуборочной техники). проводными или беспроводными датчиками. Соответственно, для передачи информации используются проводные или беспроводные сети. Наиболее распространенным способом на сегодняшний день является передача данных по сетям LPWAN.

Информация с датчиков передается в программное обеспечение и отправляется на центральный сервер коммунального предприятия или местной администрации для принятия решений и контроля за качества работы.

Для обеспечения домохозяйством электрическими и тепло ресурсами многие компании-поставщики оснащают свою инфраструктуру умными технологиями. Помимо систем учета потребленных ресурсов и услуг, внедряется мониторинг объектов (трубопроводов, электросетей).

Города по всему миру будут все чаще использовать "умные" технологии для повышения эффективности работы, информирования граждан и предоставления более качественных государственных услуг и повышения благосостояния граждан.

В ближайшие годы основные расходы на инфраструктуру IoT будут связаны с искусственным интеллектом и машинным обучением. Интернет вещей, основанный на искусственном интеллекте, позволит создать интеллектуальные машины, которые будут вести себя разумно и способны принимать решения практически без вмешательства человека.

Рост 5G (беспроводная мобильная связь пятого поколения) обеспечит более быструю передачу данных. Более быстрые сети позволят анализировать и управлять большими объемами данных, собираемых устройствами IoT. Это ускорит рост Интернета вещей. Однако, поскольку все больше IoT-устройств подключаются непосредственно к сетям 5G, а не к Wi-Fi роутерам, это вызывает новые проблемы с конфиденциальностью и безопасностью.

Цифровизация ЖКХ с помощью Интернета вещей важна как для жильцов, так и для управляющих компаний. Такие технологии могут быть реализованы разными способами, в том числе и сложными [3].

Счетчики воды, освещения и газа также могут быть "умными", а все собранные данные могут передаваться по сети. Например, счетчики воды могут обнаруживать нетипичные скачки потребления и сообщать об утечках. Счетчики электроэнергии могут быть оснащены опциями управления потреблением.

Еще одна большая категория интеллектуальных устройств для жилищно-коммунального хозяйства - системы управления. Они также выполняют функцию мониторинга, отслеживая определенные изменения во внешней среде, но их основная задача - не отслеживать и передавать данные, а принимать решения на основе полученной информации.

В жилых комплексах интеллектуальные системы и освещение помогают оптимизировать энергопотребление. Вместо непрерывной работы или ручного управления оборудование само включается и выключается в зависимости от таких условий, как температура, погода и время суток. Тот же принцип применим к интеллектуальным системам отопления и вентиляции для подъездов, вестибюлей и лестничных клеток.

Системы безопасности. В эту категорию входят, например, системы видеонаблюдения, системы контроля доступа, датчики движения, датчики дыма и газа и аналогичное оборудование. Например, домофоны с функцией распознавания лиц. Такие средства помогают предотвратить взломы, кражи и потенциально опасные для жизни несчастные случаи без вмешательства

человека Газовые датчики IoT могут подключаться к газовым системам и инициировать отключение системы в случае утечки газа.

Также, можно отнести, системы видеонаблюдения, системы доступа, датчики движения, датчики дыма или газа и подобные им устройства. Например, домофоны с распознаванием биометрии лица. Подобные инструменты помогут предотвратить взломы, кражи, потенциально опасные для жизни инциденты – и все это без вмешательства человека. Датчики газа в IoT могут быть подключены к газовым системам и инициировать их отключение в случае утечки.

Вот несколько наиболее интересных и полезных инновационных решений, которые улучшают качество жизни и облегчают работу управляющих компаний:

1. Автоматизированные системы управления мусорными контейнерами - устанавливаются в местах расположения контейнеров, отслеживают степень их наполненности и отправляют уведомления, когда контейнеры необходимо убрать.

2. Системы уличного освещения – работают по тому же принципу, что и освещение внутри помещений, управляя источником света в зависимости от времени суток и погодных условий;

3. Системы мониторинга парковок – подходят для мониторинга и передачи данных о наличии, количестве и расположении свободных мест в многоквартирных домах с большими парковочными зонами.

4. Системы мониторинга устаревания – отслеживают состояние зданий и фиксируют динамику повреждений, трещины и их изменения, помогая определить степень устаревания и необходимость/срочность капитального ремонта. Собранные данные передаются специалистам, и в случае серьезного инцидента управляющая компания должным образом информируется.

С точки зрения управляющей компании, автоматизация процессов, связанных с обслуживанием квартир, имеет большое значение. Она не только обеспечивает высокую точность расчетов, прозрачность и отчетность, но и позволяет экономить большое количество ресурсов за счет использования интеллектуальных устройств и датчиков.

Важным преимуществом внедрения IoT-систем и использования мобильных приложений в ЖКХ является оптимизация эксплуатационных расходов и более точное планирование бюджетов, на основе собранных в одном месте данных и их анализа. Это особенно актуально для незапланированных расходов в случае утечек или неисправностей, которые могут возникнуть, если их вовремя не обнаружить. Умные устройства и датчики не только предотвращают кражи и вандализм.

Поэтому автоматизация процессов и установка умных устройств в жилых комплексах очень важна, а потребность в персонале, умеющем пользоваться IoT-системами, незаменима:

1. Счетчик сам фиксирует необходимые значения с помощью специальных встроенных модулей.

2. Эти значения передаются по IoT-сети управляющей компании или поставщику услуг на регулярной основе (что также исключает риск просрочки платежа и начисления пени) и без какого-либо внешнего вмешательства.

3. Автоматизированная обработка данных исключает риск неточностей и гарантирует прозрачность всех расчетов.

Подобные IoT-проекты реализуются в России на протяжении последних нескольких лет в сфере ЖКХ. В 2017 году "Мегафон" осуществил интеграцию "умных" счетчиков, способных собирать и самостоятельно передавать данные на сервер, в наукограде Иннополис - передовом "умном городе" и центре цифровизации страны.

В 2023 году Минстрой России совместно с Центром экономики города Университета Иннополис разработал проект с практическими рекомендациями, которые помогут управляющим компаниям на пути к цифровизации и "умному" ЖКХ.

Заключение

Единственным недостатком в этой нише является необходимость тестирования решений и согласования работы производителей и операторов счетчиков, что необходимо для полноценной реализации подобных проектов в масштабах страны, отсюда и нехватка кадров. В настоящее время тестирование и испытания проводятся в основном в "умных" домах, "умных" городах, но в будущем эта тенденция будет развиваться и за пределами "умных" городов. Концепция

"Умного ЖКХ", использование технологий IoT и мобильные приложения – важная веха на пути к глобальной цифровизации в Республике Беларусь. Несмотря на сложности интеграции таких решений на начальных этапах, Интернет Вещей имеет немало преимуществ как для жильцов, так и для управляющих компаний, и в конце концов решает главную на данный момент задачу – повышение качества жизни в городах. массовое внедрение IoT-решений в сферу ЖКХ уменьшит количество проблем, с которыми регулярно сталкиваются предприятия коммунального сектора. Технологии интернета вещей повышают эффективность, экономят ресурсы и тем самым помогают коммунальным предприятиям больше зарабатывать и лучше соответствовать ожиданиям конечных потребителей.

INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY IN LIFE AND IN HOUSING AND COMMUNAL SERVICES

I.V. TSIMASHKEVICH, K.A. POLTAVTSEV

Abstract. The article reveals the concept of the "Internet of things", describes the possibilities of using this technology in all spheres of human activity, examines in detail the sphere of housing and communal services, the pros and cons of IoT technology. The main conclusions from the use of IoT technologies to increase economic benefits.

Keywords: Internet of things, sensors, local networks, digitalization of the economy, problem-based learning method, interactive education.

Список литературы

1. Что такое интернет вещей и как он устроен. // Информационный портал «РБК Тренды» [Электронный ресурс]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5db96f769a7947561444f118?from=copy>
2. Какие задачи решает Интернет вещей в ЖКХ // информационный портал «Новости Интернета вещей» [Электронный ресурс]. URL: <https://iot.ru/promyshlennost/internet-veshchey-v-zhkkh>
3. Интернет вещей (IoT) в ЖКХ: счетчики и системы мониторинга // Блог компании «Mintrocket» [Электронный ресурс]. URL: <https://mintrocket.ru/blog/internet-veshchey-iot-v-zkkh-schetchiki-i-sistemy-monitoringa/>

APPLICATION OF BLOCKCHAIN IN ELECTRONIC HEALTHCARE RECORD

YALU GAO

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

Received March 24, 2024

Annotation. Blockchain's decentralized and immutable nature provides a secure and transparent platform for data exchange, guaranteeing data integrity, privacy, and security. This essay endeavors to delve into the potential of blockchain technology in mitigating the issues confronting the healthcare system, with a focus on Electronic Health Record (EHR).

Keywords: BlockChain, Decentralized, Immutable, EHR

Introduction

Given the accumulation of significant personal data [1], it is imperative to establish dependable storage and sharing mechanisms to safeguard patient privacy. Traditional medical data management systems typically rely on centralized servers to construct large-scale site systems or centralized relational database systems, Blockchain, an open distributed ledger based on a peer-to-peer network and consensus algorithm, inherently offers solutions to these issues [2].

Framework Structure of Blockchain

The framework and structure of blockchain can be divided into six layers (figure1): Data layer is where the actual data is stored on the blockchain. It consists of blocks of data that are linked together in a chain. Each block contains a set of transactions, and each transaction contains data that is relevant to the blockchain network. Network layer is responsible for the communication between nodes on the blockchain network. It ensures that data is transmitted securely and efficiently between nodes. The network layer also handles tasks such as peer discovery, routing, and synchronization. Consensus layer is responsible for reaching agreement among nodes on the blockchain network about the validity of transactions and the state of the blockchain [3]. It ensures that all nodes on the network have a consistent view of the blockchain and that no single node can manipulate the blockchain. Contract layer is responsible for providing incentives to nodes on the blockchain network to participate in the network and perform tasks such as validating transactions and maintaining the blockchain. It typically involves the use of cryptocurrencies or tokens as rewards for participating in the network. Application layer is where applications and services are built on top of the blockchain network. It includes user interfaces, APIs, and other tools that allow users to interact with the blockchain network and access its features.

These layers are intricately interconnected and collaborate to guarantee the security, efficiency, and dependability of the blockchain network. The data layer serves as the bedrock of the blockchain, while the network layer ensures the secure and efficient transmission of data. The consensus layer ensures a uniform perspective of the blockchain across all network nodes, while the incentive layer motivates nodes to engage in network activities. The contract layer facilitates the execution of smart contracts, while the application layer furnishes users with an interface to engage with the blockchain network.

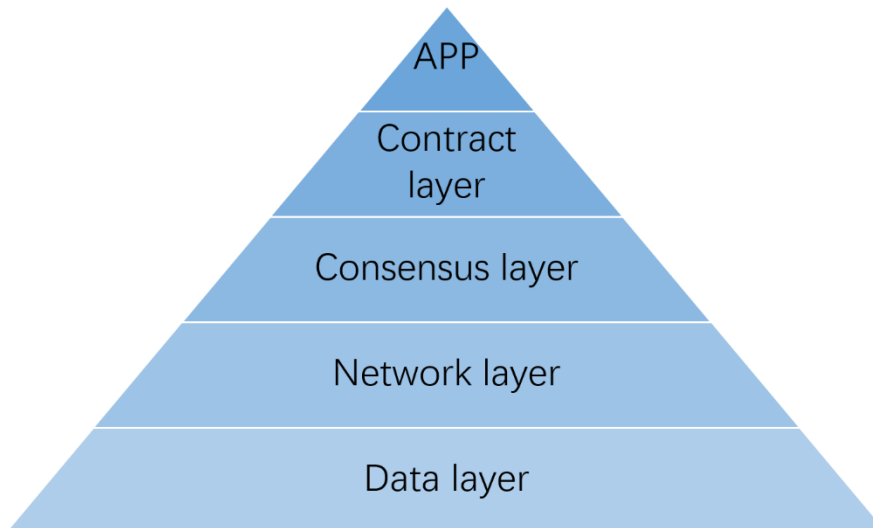


Figure 1. Structure of Blockchain

Transaction Process

Patient: When a patient visits a hospital, they first register on the hospital server. Upon registration, the hospital server assigns a unique identifier to the patient, equivalent to a medical card. The patient keeps this identifier confidential and presents it during visits. The doctor generates electronic medical records and keywords for the patient, encrypting them using the patient's public key [4]. If the patient seeks treatment at another hospital and the doctor needs access to the patient's medical history, the patient generates a search trapdoor and uploads it to the alliance chain. After running the search algorithm on the alliance chain, the nodes send the encrypted medical records to the patient, who can then decrypt them.

Doctor: Each hospital has a local server and several client devices operated by doctors. When a patient visits, the doctor generates a pseudonym, encrypted electronic medical records, encrypted keywords, and evidence. The doctor uploads the encrypted medical records to the hospital server and the hash value of the medical records, along with the encrypted keywords and evidence, to the private chain. A new transaction is generated and broadcasted. Other nodes on the private chain validate the transaction, and if successful, a new block is added to the private chain.

Data User: When a third-party institution or individual (referred to as a data user) other than the hospital and patient accesses patient data, they require authorization from the patient. The patient generates a search trapdoor and uploads it to the alliance chain. The nodes on the alliance chain perform a search, and when the corresponding patient cipher is found, the nodes act as proxies to generate proxy re-encrypted ciphertexts for the data user. Finally, the data user can decrypt the ciphertext using their private key.

Hospital Server: After the doctor treats the patient and generates electronic medical records, the hospital server extracts the private chain block identifier, patient pseudonym, and keyword index to construct a new transaction on the alliance chain. Other nodes on the alliance chain validate the transaction, and if successful, a new block is added to the alliance chain as shown in Figure 2.

Private Chain: The doctor uploads the hash value of the encrypted medical records and the keyword index constructed from encrypted keywords and evidence to the private chain, generating a new transaction. Nodes on the private chain validate the transaction. The hospital server extracts the private chain block identifier, patient pseudonym, and keyword index to construct a new transaction on the alliance chain. During the data retrieval phase, if the search is successful, the nodes on the alliance chain extract the secure index from the block to obtain the private chain block identifier. Using the private chain block identifier, the nodes on the alliance chain can retrieve the hash value of the medical record ciphertext.

Alliance Chain: During the search process, when the nodes on the alliance chain receive the trapdoor sent by the patient, they run the search algorithm. If the search is successful, the nodes extract the secure index from the block to obtain the private chain block identifier. Using the private chain block

identifier, the nodes on the alliance chain retrieve the hash value of the medical record ciphertext and send it back to the hospital server. The hospital server compares the hash value with the one it has. If they match, the medical record ciphertext is sent to the nodes on the alliance chain, which then return it to the patient. When a third-party data user accesses the patient's electronic medical record, the nodes on the alliance chain act as proxies to generate proxy re-encrypted keys, which are used to perform proxy re-encryption on the ciphertext of the electronic medical record before sending it to the third-party user. System Model Diagram as shown in Figure 2.

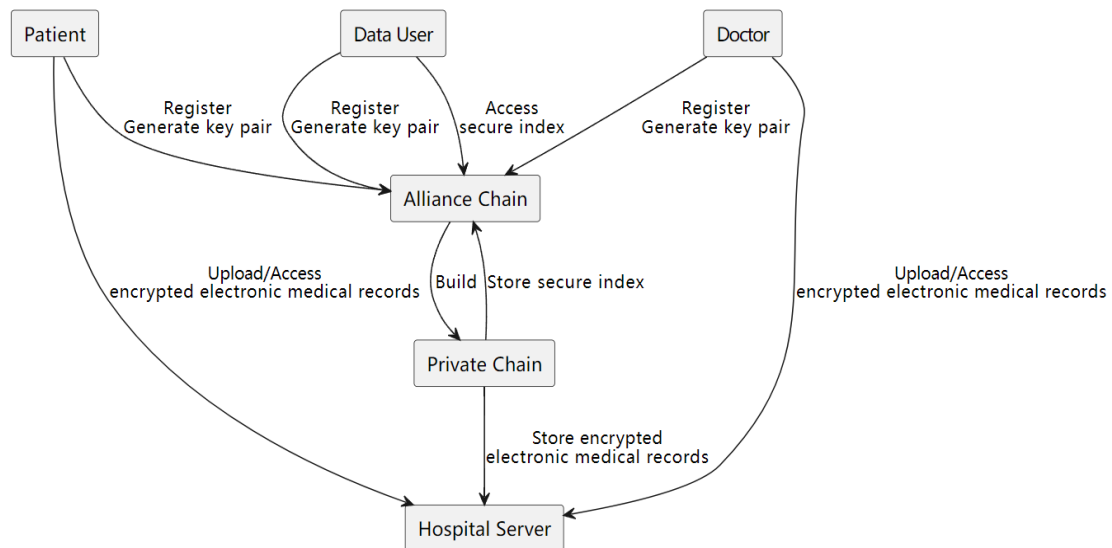


Figure 2. System Model Diagram

Conclusion

Blockchain technology enables secure storage, privacy protection, and authorized access to medical data. It offers a reliable solution to address the security and privacy concerns in traditional medical data management systems. However, the implementation of blockchain technology also faces challenges such as performance, scalability, and standardization, which need to be addressed through comprehensive research and practical solutions.

In conclusion, blockchain technology has tremendous potential in the field of medical data management, providing robust protection for patient privacy and secure data exchange and access for medical institutions and data users. However, the implementation and adoption of blockchain technology require further research and practical considerations to overcome technical and practical challenges.

References

1. Hossain, A., Quaresma, R., & Rahman, H. (2019). Investigating factors influencing the physicians' adoption of electronic health record (EHR) in healthcare system of Bangladesh: An empirical study. *International Journal of Information Management*, 44, 76-87.
2. Menachemi N., Collum T H. Benefits and drawbacks of electronic health record systems[J]. *Risk management and healthcare policy*, 2011: 47-55.
3. Quasim M. T., Khan M A, Algarni F, et al. Blockchain frameworks[J]. *Decentralised Internet of Things: A Blockchain Perspective*, 2020: 75-89.
4. Gupta S, Sadoghi M. Blockchain transaction processing[J]. *arXiv preprint arXiv:2107. 11592*, 2021.

GRAD-CAM VISUALIZATION MODEL FOR LUNG DISEASE DIAGNOSIS

HE TAO

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

Received March 28, 2024

Abstract. When applying the diagnosis of lung diseases in the Internet of Things networks, the Grand-Cam model can be used to provide assistance to doctors by imaging lungs and diagnosing diseases. By creating heatmaps of attention, Cad-Cam can visualize areas in an image. Doctors can observe heat maps to make decisions about the disease and ensure that the model focuses on areas related to specific lung diseases, increasing the accuracy and reliability of diagnosis.

Keywords: Cad-Cam, solution model, heat map of attention, diagnosis of lung diseases

Introduction

Grad-Cam is a technique for interpretable deep learning model decisions that can be applied in areas such as computer vision and natural language processing [1]. These techniques can help us understand the model's focus on the input and the basis for its decision-making, rather than just treating the deep learning model as a black box. In the application of diagnosing lung diseases in IoT networks, Grad-Cam can be used to provide interpretability of model decisions, helping doctors and researchers understand the model's focus on lung images and the basis for disease diagnosis. By generating attention heatmaps, Grad-Cam can visualize the model's areas of attention in an image, thereby revealing how much the model pays attention to different areas in the image. Specifically, when applying Grad-Cam to the diagnosis of lung diseases, you first need to train a deep learning model that can classify or locate diseases based on lung images. Grad-Cam technology is then used to generate a heat map that shows the model's areas of interest in the lung image. These areas of concern may provide doctors with important clues in diagnosing lung disease [2]. By observing the resulting heatmaps, physicians can better understand the model's decision-making process and verify that the model is focusing on areas associated with specific lung diseases. This can help doctors verify the reliability and accuracy of the model and provide additional support and evidence to make more accurate diagnoses.

Principle of Grad-Cam

Grad-Cam uses the gradient of any target concept (such as the logits of a certain class in the classification category, or even the output in the caption task), flows into the final convolutional layer, and generates a rough positioning map to highlight the features in the image. important areas for prediction [3]. By preceding the last global average pooling layer, the category activation map image is generated as a cumulative weighted activation, which is upscaled to the original image size.

The basic principle of the Grad-Cam method is to calculate the weight of each feature map in the last convolutional layer to the image category, then find the weighted sum of each feature map, and finally map the weighted sum feature map to the original image.

As shown in Figure 1, the input image first passes through multiple CNN convolutional layers, calculates global average pooling on the feature map of the last convolutional layer, and then flattens the pooling result into one dimension to make it a fully connected layer [4]. Then predict the classification result through the softmax activation function, and at the same time calculate the weight of all feature maps in the last convolution layer to the image category, then perform a weighted sum of

these feature maps, and finally map the feature maps to the original in the form of a heat map get the results in the picture.

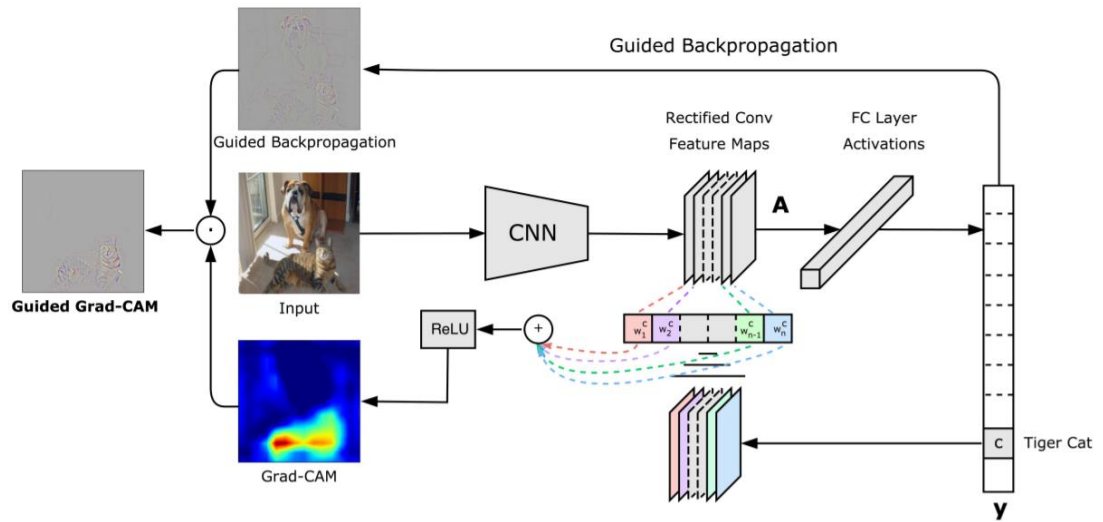


Figure 1. Grad-Cam calculation structure diagram

Given an image and a class of interest ("Tiger Cat" or any other kind of differentiable output) as input, the image is forward-propagated through the CNN part of the model, which then performs task-specific calculations to obtain a raw score for that category [5]. The gradients are set to zero for all classes except the desired class (Tiger Cat), which is set to 1. This signal is backpropagated to the rectified convolutional feature map of interest, which is combined to compute a coarse-grained CAM localization (blue heat map), which represents where the model must focus to make a specific decision. The heatmap is finally dot-multiplied with guided backpropagation to obtain a high-resolution and concept-specific guided gravity cam visualization.

Breath sound feature optimization based on Grad-Cam

The model in this article uses the Mel spectrogram features of breath sounds as network input [6]. The extraction process includes: input audio data in wav format, resample the audio at 16kHz frequency, set the window function to Hanning window, window length 25ms, step size 10ms, perform short-time Fourier transform on the audio to obtain the spectrogram, use 64-order The Mel filter group calculates the Mel spectrum on the spectrogram obtained in the previous step, calculates $\log(\text{mel-spectrum}+0.01)$ to obtain a stable Mel spectrum, and frames the frame for 0.96s per second, in which the frames are not stacked. , each frame contains 64 Mel bands, and each second contains a total of 96 frames. The model in this article uses the Mel spectrogram features of breath sounds as network input. Figure 2 shows an example of a breath sound Mel spectrum.

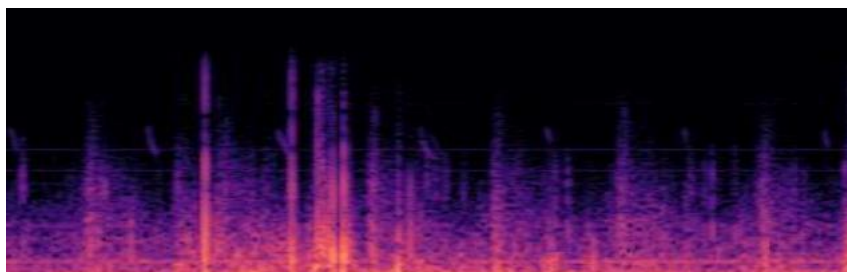


Figure 2. Breathing sound Mel spectrum sample

The features used in the basic model of this article were selected in the frequency range of 100-2000Hz. After preliminary experiments, when Grad-Cam was used to analyze the samples classified by the basic model, significant low-heat areas were found in the high-frequency areas of their spectra. As shown in Figure 3, the high-heat area in the figure represents the part that is more important to the classification model, and the low-heat area represents the part that is relatively unimportant for target prediction and classification.

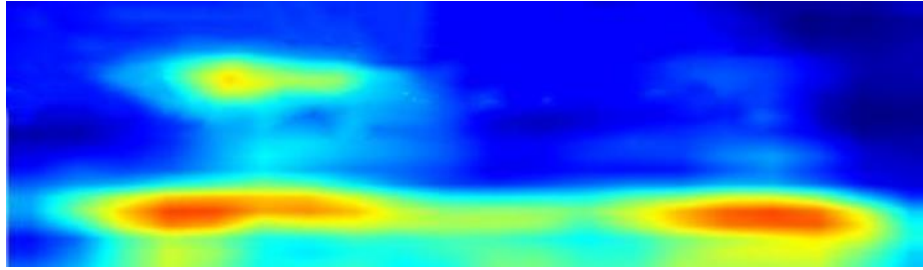


Figure 3. Grad-Cam analyzes raw samples

The model's focus on the input image is mainly concentrated in the lower half of the input image, indicating that some areas within the audio high-frequency range cannot provide good features for the model's classification judgment [7]. Further analysis reveals that many samples have blank areas, especially in the frequency range 1500-2000Hz. This may have an adverse effect on the network performance of this article. In order to optimize the model effect, this article selectively cuts blank lines from the high-frequency areas of these spectra. The purpose of this is to ensure that the network focuses on the area of interest and reduces interference in irrelevant areas, thereby improving model performance [8]. This article chooses to cut out the area above the audio Mel frequency of 1500Hz. After pruning out the high-frequency regions, the network starts paying more attention to the lower half of the spectrogram, as shown in Figure 4.

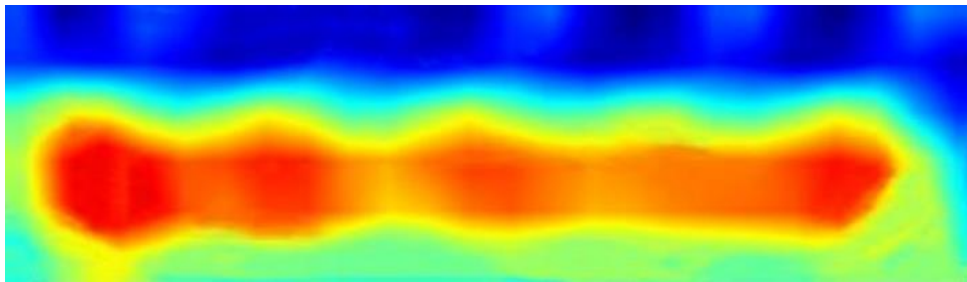


Figure 4. Grad-Cam analyzes optimized samples

Conclusion

Grad-Cam helps explain why the deep learning model focuses on breathing sounds and lung images and is the basis for disease diagnosis. The generated heat map of attention shows how much the model pays attention to different regions, thus providing detailed information about the disease. This visualization method helps to verify the reliability and accuracy of the model and increases the reliability of the diagnosis. By observing the heat map, the doctor can better make a decision and check whether the model focuses on areas related to the sound of breathing and lung diseases.

References

1. Selvaraju R R., Cogswell M., Das A. // Grad-cam: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. 2017. Vol. 1. P. 21.
2. Zhang, Yunya. // Grad-CAM helps interpret the deep learning models trained to classify multiple sclerosis types using clinical brain magnetic resonance imaging. 2021. Vol. 2. P. 11.
3. Ramaswamy H G. // Ablation-cam: Visual explanations for deep convolutional network via gradient-free localization. 2020. Vol. 1. P. 12.
4. Morbidelli P., Carrera D., Rossi B. // Augmented Grad-CAM: Heat-maps super resolution through augmentation. 2020. Vol. 1. P. 13.
5. Kim J Y., Kim J M. // Bearing fault diagnosis using grad-CAM and acoustic emission signals. 2020. Vol. 12
6. Xiao M., Zhang L., Shi W. // A visualization method based on the Grad-CAM for medical image segmentation model. 2021. Vol. 1. P. 8.
7. Kim J K., Jung S., Park J. // Arrhythmia detection model using modified DenseNet for comprehensible Grad-CAM visualization. 2022. Vol. 2. P. 4.
8. Jiang H., Xu J., Shi R. // A multi-label deep learning model with interpretable Grad-CAM for diabetic retinopathy classification. 2020. Vol. 7

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Ван Ин – магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
2. Вэй Цзыцзянь – магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
3. Гао Ялу – магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
4. Го Цичэн – аспирант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
5. Довгулевич Евгения Викторовна – магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
6. Жэнь Сюнь Хуань – стажер кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
7. Зорько Михаил Иванович – ассистент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
8. Кизименко Вячеслав Владимирович – научный сотрудник Центра 1.6 «Научно-конструкторский центр перспективных радиоэлектронных систем сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн» БГУИР
9. Кобяк Игорь Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедры электронных вычислительных машин, БГУИР
10. Кореневский Святослав Александрович – к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР, ведущий научный сотрудник Центра 1.6
11. Лапицкая Василина Александровна – к.т.н., научный сотрудник лаборатории нанопроцессов и технологий Института тепло- и массообмена имени А.В.Лыкова НАН Беларуси
12. Левоненко Иван Игоревич – студент факультета информационной безопасности БГУИР
13. Ли Хао – аспирант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР

14. Литвинов Сергей Владимирович – зам. директора ООО «ЮВР»
15. Ловецкий Михаил Юрьевич – ассистент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР, младший научный сотрудник лаборатории нанопроцессов и технологий Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси
16. Лю Юй – студент факультета программного обеспечения Университета Хэнаня, КНР
17. Ма Цзюнь – ассистент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
18. Макейчик Екатерина Геннадьевна – старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
19. Москалёв Сергей Александрович – начальник отдела оптико-механических разработок ОАО «Конструкторское бюро «Дисплей»
20. Назаров Максим Михайлович – к.ф.м.н., начальник лаборатории в НИЦ «Курчатовский институт», Москва, РФ
21. Наумович Николай Михайлович – к.т.н, начальник Центра 1.6 «Научно-конструкторский центр перспективных радиоэлектронных систем сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн» БГУИР
22. Петров Сергей Николаевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры защиты информации УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
23. Позняк Анастасия Александровна – студент группы 163001 кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
24. Полтавцев Константин Андреевич – магистрант кафедры естественных наук Университета НАН Беларуси
25. Полуян Татьяна Владимировна – аспирант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
26. Понкратов Дмитрий Васильевич – аспирант кафедры физики и компьютерных технологий МГУ им. А.А. Кулешова
27. Рабцевич Виолетта Викторовна – старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР

28. Робачевский Александр Дмитриевич – студент факультета информационной безопасности БГУИР
29. Родулевич Анжелика Олеговна – учащаяся УО «Национальный детский технопарк»
30. Романович Владислав Николаевич – учащийся УО «Национальный детский технопарк»
31. Сергановский Александр Александрович – учащийся УО «Национальный детский технопарк»
32. Сикорский Дмитрий Анатольевич – к.т.н., заместитель генерального директора ОАО «ПЕЛЕНГ» по научно-техническому развитию
33. Сотский Александр Борисович – д.ф.м.н., профессор, профессор кафедры физики и компьютерных технологий МГУ им. А.А. Кулешова
34. Тимошкевич Иван Валерьевич – научный сотрудник отдела жилищного хозяйства, института ЖКХ НАН Беларуси
35. Толейко Кирилл Геннадьевич – студент группы 163001 кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
36. Хэ Тао – магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
37. Цветков Виктор Юрьевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий БГУИР
38. Цзэн Пэн – магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
39. Чепикова Виолетта Викторовна – старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
40. Чжао Иань – магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
41. Чижик Сергей Антонович – д.т.н., профессор, академик НАН Беларуси, главный научный сотрудник лаборатории нанопроцессов и технологий Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси
42. Чэнь Имин – аспирант кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР

43. Шавловский Станислав Андреевич – учащийся УО «Национальный детский технопарк»
44. Шевчук Оксана Геннадьевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР
45. Шилов Артур Владимирович – старший преподаватель кафедры физики и компьютерных технологий МГУ им. А.А. Кулешова
46. Шука Вячеслав Сергеевич – студент кафедры инфокоммуникационных технологий БГУИР