

ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ УЗЛОВ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Т.В. ПОЛУЯН, С.Н. КАСАНИН

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 20 марта 2023

Аннотация. Беспроводные мобильные самоорганизующиеся сети (МСОС) состоят из динамических узлов, имеющих высокую скорость движения. По сравнению с другими существующими видами сетей связи, в МСОС возникает больше всего проблем при организации маршрутизации, так как ввиду высокой скорости движения узлов значительно усложняется задача качественной доставки передаваемых пакетных данных. Под качеством подразумевается целостность доставленных пакетов и минимизация задержек. В статье описывается разработанная программная модель движения узлов, учитывающая оценку времени обслуживания каналов по расстоянию, относительную скорость и ускорение между узлами, необходимые для оптимизации построения транспортных таблиц и повышения качества связи.

Ключевые слова: мобильные самоорганизующиеся сети, маршрутизация, программная модель, скорость, качество связи, пакетные данные.

Введение

В связи с тенденцией к развитию технологий непилотируемых летательных аппаратов увеличивается количество беспилотной техники как гражданского, так и специального назначения. Обычно наземные станции, летающие узлы и спутники состоят из трехслойной сети. Летающие узлы сети занимают средний слой такой сети, связь с глобальной паутиной осуществляется через каналы связи с наземными станциями. Однако, в случае выхода узла из зоны действия наземной станции, передача пакетных данных будет осуществляться через спутник, что требует больших затрат и высокой задержки (около 250 мс). Альтернативой данному способу связи является использование в качестве отправителя и получателя сообщений самих сетевых узлов, таким образом, узлы будут являться и ретрансляторами для формирования самоорганизующейся сети пересылки данных с несколькими переходами. Таким образом, анализ маршрутизации в мобильных самоорганизующихся сетях (МСОС) является актуальной и необходимой тематикой современных исследований.

Многие исследования были посвящены протоколам и алгоритмам маршрутизации высокодинамичных МСОС. В [1] представлен метод оценки надежности канала, учитывающий возможное время обслуживания канала и непредсказуемость топологических изменений МСОС. Реактивный протокол маршрутизации на основе местоположения MUDOR, предложенный в [2], использует доплеровский сдвиг, который представляет собой относительную скорость, указывающую, насколько быстро узлы перемещаются близко или далеко друг от друга, для оценки стабильности канала. В [3] моделируется система с географической маршрутизацией в рамках нескольких моделей мобильности и представлены две схемы прогнозирования мобильности (ПМ), учитывающие анализ влияния ошибок определения местоположения, вызванных движением узла. Еще один из рассматриваемых подходов [4] описывает схемы мобильности с учетом потерь многоузловых ретрансляторов (МУР) и маршрутизации в случае высокой динамики узлов. При прогнозировании выхода за пределы диапазона передачи МУР или следующего перехода узел пересчитывает набор МУР или таблицу маршрутов.

Все упомянутые выше протоколы маршрутизации улучшают производительность МСОС, выбирая в качестве маршрутов более стабильные каналы связи. Однако основное предположение этих улучшений заключается в том, что скорость узлов постоянна, хотя она быстро меняется в высокодинамичных сценариях.

Целью работы является определение требований к структуре и основным элементам программной модели движения узлов мобильной самоорганизующей сети.

Сетевая модель

Сетевая модель является основой для разработки программной модели движения узлов. Рассматривается физический уровень сетевой модели, на котором работают мобильные узлы. Сеть содержит n узлов, обозначенные как множество N . Два узла сети обозначены как a и b . Когда два узла находятся в условиях радиовидимости, существуют линия связи между этими узлами l_{ab} . Набор доступных линий связи в сети обозначает как L . Если существует линия l_{ab} , принадлежащая к L , узел b является соседним с узлом a , множество обозначается как N_a^1 . Так же, если существует линия l_{ad} , принадлежащая к L , в то время как l_{ad} не принадлежит к N_a^1 , можно сказать, что d является одним из двух соседей узла a , который обозначен как N_a^2 .

Дальнейшая разработка проводится, основываясь на следующих предположениях:

1. Каждый узел имеет одинаковую мощность передачи и радиус действия.
2. Все каналы связи в модели сети однородны.
3. Все узлы в сети следуют одной и той же модели движения.
4. Узлы движутся независимо друг от друга.

Модель движения

На точность прогнозирования времени обслуживания канала влияет модель подвижности узлов, в то время как движение узлов предполагается равномерно-переменным. Диапазон скорости и координат узлов ограничен в определенной области, начальные координаты расположения узлов заданы, а скорость и направление движения формируются случайным образом во время начала движения для всех узлов. Узлы движутся с учетом следующих условий:

1. Движение каждого узла является равномерно-переменным.
2. Скорость изменяется в диапазоне $[v_{min}, v_{max}]$.
3. Направления движения находится в диапазоне $[0, 2\pi)$.
4. Направление вектора ускорения совпадает с направлением вектора скорости, когда скорость достигает предельного значения, ускорение принимает нулевое значение.
5. На каждом временном интервале узлы определяют ускорение текущего движения. Вероятность равномерного, ускоренного или замедленного движения узлов составляет p_1, p_2, p_3 , причем, $p_1, p_2, p_3 \in [0, 1]$ и $p_1 + p_2 + p_3 = 1$.
6. Перемещение узлов ограничено трехмерной областью $X \times Y \times Z$, за исключением отрицательных значений координатной оси Z , обозначающей высоту пространства.

Модель взаимодействия узлов

Расстояния между узлами сети рассчитывается аналогично, как и между двумя описанными выше узлами a и b , модель взаимодействия которых представлена на рис. 1. Расстояние между узлами обозначается как $a r_a$ и r_b , вектор расстояния – \vec{r}_{ab} . Таким образом, модуль \vec{r}_{ab} вычисляется как

$$|\vec{r}_{ab}| = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2}, \quad (1)$$

где $x_a, x_b, y_a, y_b, z_a, z_b$ являются координатами узлов.

Вектора скорости и ускорения двух узлов обозначены как $\vec{v}_a, \vec{a}_a, \vec{v}_b, \vec{a}_b$. Аналогично вектора относительной скорости и ускорения между узлами обозначается как $\vec{v}_{ab}, \vec{a}_{ab}$. Модуль $|\vec{v}_{ab}|$ вычисляется как

$$|\vec{v}_{ab}| = \sqrt{(v_{bx} - v_{ax})^2 + (v_{by} - v_{ay})^2 + (v_{bz} - v_{az})^2}, \quad (2)$$

где $v_{bx}, v_{ax}, v_{by}, v_{ay}, v_{bz}, v_{az}$ – проекции векторов на оси X, Y, Z .

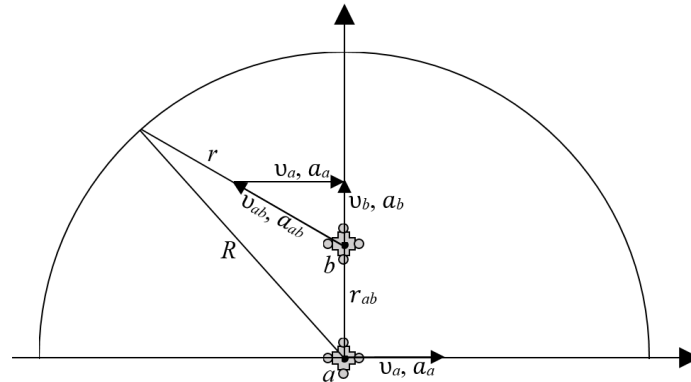


Рис. 1. Модель взаимодействия узлов

Программная модель движения

Программная модель разработана с учетом вышеизложенных положений сетевой модели, моделей движения и взаимодействия узлов. Алгоритм работы программной модели следующий.

1. Начальное положение сетевых узлов задано по умолчанию в одной точке, дальнейшее расположение выбирается случайно в пределах заданной трехмерной плоскости относительно исходной точки.

2. По полученным координатам рассчитываются расстояния между узлами сети. Генерируется матрица расстояний в заданные моменты времени.

На рис. 2 приведена UML-диаграмма классов программной модели, показывающая соответствие принципам объектно-ориентированного программирования и требованиям к разработке программного обеспечения.

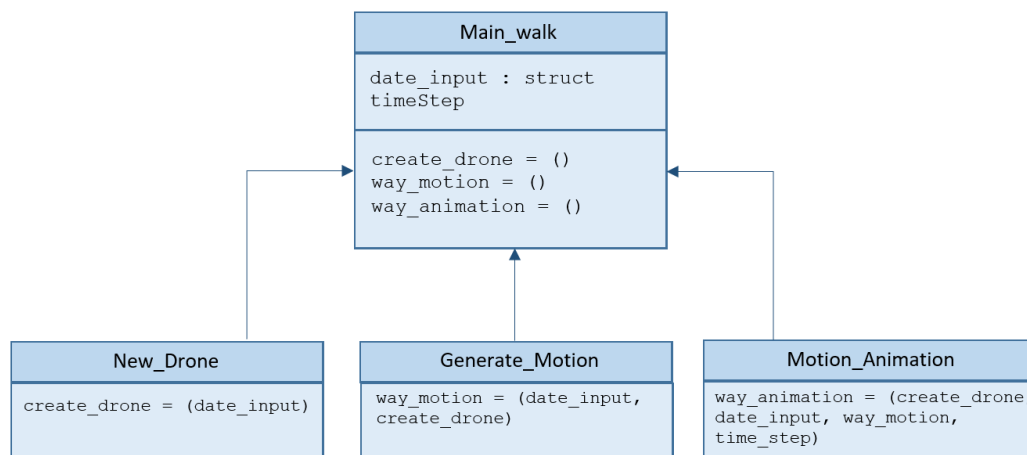


Рис. 2. UML-диаграмма классов программной модели

Трехмерная модель построена таким образом, чтобы при разработке алгоритма маршрутизации и построения маршрутных таблиц можно было учесть все параметры изменения расположения узлов, такие как координаты узла в момент времени (в том числе высоту),

расстояние между ближайшими соседями и всеми узлами в канале передачи, рассчитать скорость и направление движения узлов и ускорение. Перечисленные базовые параметры необходимы для прогнозирования изменения сетевой топологии, что немаловажно для построения оптимального маршрута передачи данных.

На рис. 3 приведены результаты моделирования с учетом радиовидимости сетевых узлов.

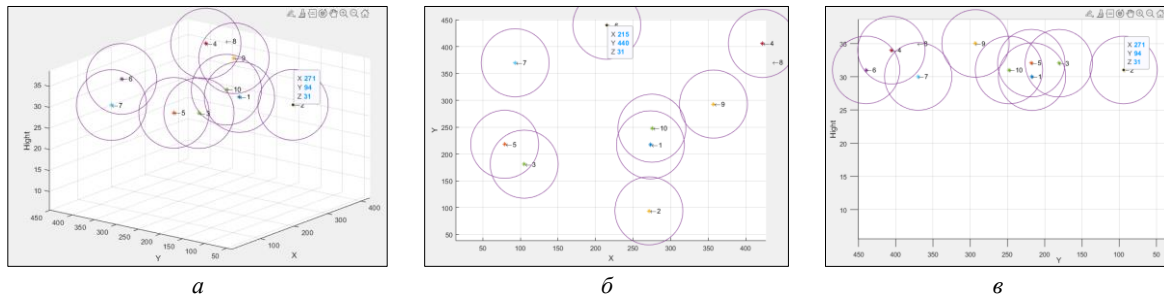


Рис. 3. Пример расположения сетевых узлов в трехмерном пространстве:
а – 3D плоскость; *б* – вид сверху; *в* – вид сбоку

Заключение

Разработана программная модель движения сетевых узлов, включающая в себя сетевую модель, модель движения и модель взаимодействия узлов. Получены матрицы расстояний между узлами с заданным интервалом времени с учетом относительной скорости и ускорения движения узлов. Благодаря гибкости и изменяемости, разработанная программная модель может применяться для оценки качества связи в высокодинамичных мобильных сетях, разработки методов увеличения скорости передачи пакетов данных и минимизации потерь информации.

MOTION SOFTWARE MODEL OF SELF-ORGANIZING NETWORK NODES IN THREE-DIMENSIONAL SPACE

T.V. POLUYAN, S.N. KASANIN

Abstract. Wireless mobile self-organizing networks (MSOS) consist of dynamic nodes with a high speed of movement. Compared with other existing types of communication networks, in MSOS the most problems arise when organizing routing, since due to the high speed of movement of nodes, the task of high-quality delivery of transmitted packet data becomes much more complicated. Quality refers to the integrity of delivered packets and the minimization of delays. The article describes the developed software model of the nodes movement, which takes into account the estimation of the service time of channels by distance, the relative speed and acceleration between nodes, necessary to optimize the construction of transport tables and improve the quality of communication.

Keywords: mobile self-organizing networks, routing, software model, speed, communication quality, packet data.

Список литературы

1. Lei Lei, Wang Dan // Link availability estimation based reliable routing for aeronautical ad hoc networks, Ad Hoc Networks. 2014. Vol. 20. P. 53–63.
2. Biomo J.M.M., Kunzand St-Hilaire M.T. // 2014 7th IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC). 2014. P. 1–7.
3. Son D., Helmy A., Krishnamachari B. // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2004. P. 233–245.
4. Sharma S. // IEEE 34th Conference on Local Computer Networks. 2009. P. 237–240.