

УДК 621.391

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В КОДИРОВАНИИ И ПЕРЕДАЧЕ МНОГОРАКУРСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.Ю. ЦВЕТКОВ

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 16 июля 2015

Разработаны геометрические модели прогнозирования многокурсовых изображений, передаваемых с борта БЛА. Получены зависимости коэффициента сжатия от условий формирования многокурсовых изображений и траекторий перемещения видеокамеры для различных методов прогнозирования.

Ключевые слова: прогнозирование, многокурсовое изображение, беспилотный летательный аппарат.

Введение

В системах дистанционного видеомониторинга на базе беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с помощью видеокамеры формируются многокурсовые изображения, состоящие из множества перекрывающихся фрагментов. Сжатие многокурсовых изображений основано на прогнозировании по некоторому однокурсному фрагменту многокурсового изображения (опорному изображению) множества других однокурсных фрагментов (прогнозируемых изображений), в результате формирования приближений (прогнозных изображений). В наиболее эффективных методах сжатия видеоданных прогнозирование основано на компенсации движения [1–4]. В [5] предложены геометрические модели формирования МРИ в двухмерном и трехмерном пространстве. На их основе разработаны геометрические модели прогнозирования МРИ. В этой связи актуальной задачей является оценка эффективности использования различных методов компенсации движения для прогнозирования МРИ в различных условиях их формирования.

Геометрические модели формирования и прогнозирования многокурсовых изображений на борту БЛА

Общая геометрическая модель формирования многокурсового изображения $\{I(r)\}_{(r=0, R-1)}$ описывает формирование множества r -курсовых плоских перекрывающихся проекций $I(r)$ трехмерного пространства P^3 посредством перспективного проективного преобразования T_{PP}^3 согласно выражению [5, 6]

$$I(r) = T_{PP}^3(P^3, r). \quad (1)$$

В зависимости от траектории перемещения видеокамеры при движении БЛА трехмерное пространство P^3 формирования многокурсового изображения может быть приближенно представлено плоскостью в двухмерном (пространство P_1^2) или трехмерном (пространство P_1^3) пространстве [5, 6]. Пространство P_1^2 представляет плоскую сцену, когда оптическая ось

видеокамеры перпендикулярна земной поверхности (рис. 1а). Пространство P_1^3 представляет плоскую поверхность в трехмерной сцене, когда положение оптической оси видеокамеры не перпендикулярно земной поверхности (рис. 1б).

Выделяя среди множества разноракурсных фрагментов $\{I(r)\}_{(r=0, R-1)}$, многокурсного изображения два: опорный I_B и прогнозируемый I , может быть построена модель прогнозирования фрагмента I . Данная модель описывает преобразование T_{PP}^3 пространства P^3 в опорное изображение I_B и, далее, преобразование T_X^2 опорного изображения I_B в прогнозное изображение I_P :

$$P^3 \xrightarrow{T_{PP}^3} I_B \xrightarrow{T_X^2} I_P. \quad (2)$$

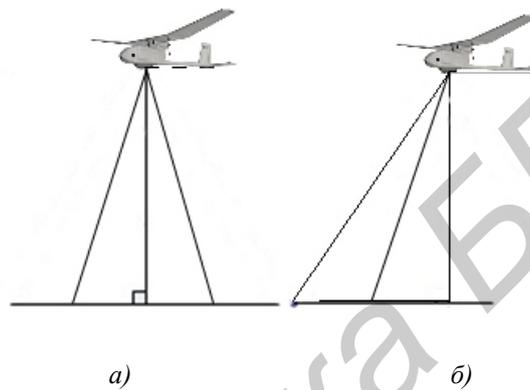


Рис. 1. Схемы формирования многокурсных изображений: а) в пространстве P_1^2 ; б) в пространстве P_1^3

Тип преобразования T_X^2 зависит от типа пространства P^3 формирования многокурсных изображений. Если это пространство P_1^2 ($P^3 \rightarrow P_1^2$), то преобразование T_X^2 является преобразованием T_S^2 подобия, сохраняющим параллельность линий. Если это пространство P_1^3 , то преобразование T_X^2 является проективным преобразованием T_P^2 , сохраняющим коллинеарность точек. Таким образом, рассмотренным геометрическим моделям формирования многокурсных изображений соответствуют следующие геометрические модели прогнозирования: $P_1^2 \xrightarrow{T_{PP}^3} I_B \xrightarrow{T_S^2} I_P$ (рис. 2а); $P_1^3 \xrightarrow{T_{PP}^3} I_B \xrightarrow{T_P^2} I_P$ (рис. 2б).

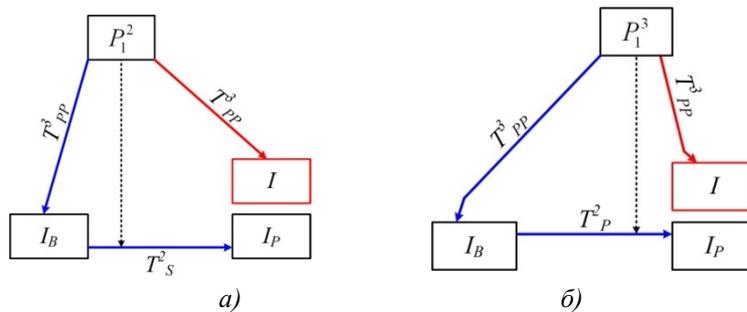


Рис. 2. Схемы прогнозирования многокурсных изображений:

$$а) P_1^2 \xrightarrow{T_{PP}^3} I_B \xrightarrow{T_S^2} I_P; б) P_1^3 \xrightarrow{T_{PP}^3} I_B \xrightarrow{T_P^2} I_P$$

Методы прогнозирования многокадровых изображений

Известны методы прогнозирования изображений на основе различных видов компенсации движения: пиксельной (ПКД – всем пикселям опорного изображения задаются одинаковые смещения по горизонтали и вертикали), блочной (БКД – прогнозируемое изображение делится на блоки, для каждого из которых ищется соответствующий блок на опорном изображении и фиксируются смещения этого блока по горизонтали и вертикали относительно блока на прогнозируемом изображении); двухуровневой блочной (УБКД – учитываются глобальные смещения, являющиеся общими для всех блоков опорного изображения, и уточняющие локальные смещения для каждого блока), кадровой (ККД – основана на проективном преобразовании опорного изображения), сегментной (СКД – прогнозируемое изображение делится на однородные области, для каждой из которых ищется соответствующая область на опорном изображении и фиксируются параметры гомографии этой области относительно области на прогнозируемом изображении), двухуровневой сегментной (УСКД – учитываются глобальные параметры гомографии, являющиеся общими для всех областей опорного изображения, и уточняющие локальные параметры гомографии для каждой области), объектной (ОКД – предполагается, что известны расстояния до объектов и учитываются только параметры перемещения видеокамеры относительно опорного ракурса) [1–4].

Для эффективного кодирования многокадровых изображений, формируемых на борту БЛА, актуальной задачей является выбор метода прогнозирования в зависимости от траектории перемещения видеокамеры и типа пространства формирования многокадровых изображений.

В случае БЛА тип пространства формирования многокадрового изображения и траектория перемещения видеокамеры известны (за счет использования данных телеметрии). Для выбора метода прогнозирования в зависимости от типа пространства формирования многокадрового изображения и траектории перемещения видеокамеры необходимо оценить ошибку прогнозирования. Всего определены 2 типа пространств формирования многокадровых изображений [5, 6]. Для них возможны следующие траектории перемещения видеокамеры: поперечная (в плоскости, перпендикулярной оптической оси), например, вверх/вниз (влево/вправо); продольная (в плоскости, перпендикулярной объектной плоскости и плоскости видеокамеры), например, вперед/назад; поворот/тангаж; крен; комбинированная (сочетание перечисленных выше видов движения). При перемещении видеокамеры проявляются различные эффекты (в том числе в сочетании) на изображениях: сдвиг, масштабирование, поворот, перспективные искажения (параллакс), приводящие к ошибкам прогнозирования.

Условия оценки эффективности методов прогнозирования многокадровых изображений

При кодировании многокадровых изображений прогнозное изображение I_p используется для вычисления ошибки прогнозирования в результате пиксельной разности прогнозного изображения I_p и прогнозируемого изображения I . Для восстановления многокадрового изображения декодеру требуются в общем случае опорное изображение I_B , ошибка прогнозирования и параметры преобразования разнокадровых фрагментов. Объем V_Σ кода прогнозирования складывается из объема V_E кода ошибки прогнозирования и объема V_{MC} кода параметров преобразования в соответствии с выражением:

$$V_\Sigma = V_E + V_{MC} . \quad (3)$$

Эффективность методов прогнозирования многокадровых изображений определяется объемом V_Σ кода и вычислительной сложностью прогнозирования.

В порядке увеличения вычислительной сложности методы компенсации движения располагаются следующим образом: ПКД, БКД, УБКД, ККД, СКД, УСКД, ОКД.

Для оценки объема V_Σ кода прогнозирования для различных методов компенсации движения использованы тестовые высококонтрастные фрагменты изображения размером 32×32 пикселя. Четвертую часть площади этих фрагментов составляют сегменты различного уровня яркости и размера (всего 7 сегментов: 5 сегментов площадью 1 пиксель, 1 сегмент площадью 5×5 пикселей, 1 сегмент 13×13 пикселей), размещенные на однородном фоне.

Для различных методов компенсации движения с учетом размера фрагмента изображения 32×32 пикселя объем B_{MC} кода параметров преобразования определен следующим образом. Для ПКД $B_{MC} = 2 \times 5 = 10$ бит, исходя из того, что возможны смещения изображения по вертикали и горизонтали в пределах рассматриваемого фрагмента 32×32 пикселя. Для БКД $B_{MC} = 64 \times 6 = 384$ бита, исходя из размера блока 4×4 пикселей, числа блоков $8 \times 8 = 64$ и числа бит, необходимых для кодирования смещений блоков по вертикали и горизонтали $3 + 3 = 6$. Для ККД $B_{MC} = 8 \times 5 = 40$ бит, исходя из количества коэффициентов матрицы плоской гомографии (8 коэффициентов) и числа бит на их кодирование (5 бит). Для СКД $B_{MC} = 8 \times 8 \times 5 = 320$ бит, исходя из числа сегментов на фрагменте (8 сегментов, включая фон), количества коэффициентов матрицы плоской гомографии (8 коэффициентов) и числа бит на их кодирование (5 бит). Для УБКД $B_{MC} = (2 + 2) + 64 \times (2 + 2) = 260$ бит, исходя из того, что на кодирование глобальных и локальных параметров выделяется по 2 бита. Для УСКД $B_{MC} = 8 \times 3 + 8 \times 8 \times 3 = 216$ бит, исходя из того, что на кодирование глобальных и локальных параметров выделяется по 3 бита. Для ОКД $B_{MC} = 6 \times 5 = 30$ бит исходя из того, что для определения перемещения и ориентации камеры в трехмерном пространстве необходимо 6 параметров (угловые и линейные перемещения по трем координатам), для кодирования каждого из которых достаточно 5 бит.

Для оценки объема B_E кода ошибки прогнозирования для различных методов компенсации движения на основе тестовых фрагментов изображения с помощью перспективного проективного преобразования T_{pp}^3 согласно выражению (1) получены многокурные изображения $\{I(r)\}_{(r=0, R-1)}$ в условиях различных пространств формирования многокурных изображений и различных видов движения камеры. Для нормировки к размеру изображения YX пикселей в качестве оценки величины ошибки прогнозирования использован коэффициент ошибок, определяемый с помощью выражения:

$$C_E = P_E / (YX), \quad (4)$$

где P_E – число пикселей с ошибками; Y, X – размер фрагмента многокурного изображения по вертикали и горизонтали. Для определения затрат на кодирование учитывается битовая глубина фрагмента изображений 6 бит (5 уровней яркости сегментов, включая фон, 4 субпиксельных перехода на границах между сегментами и фоном, 10 переходов на границах между другими 4-мя сегментами, столько же резервируется для новых сегментов, появляющихся при перемещении видеокамеры). Тогда, исходя из коэффициента ошибок, размера фрагмента изображения (32×32 пикселя) и коэффициента сжатия ошибки (1,5 раза [7]) определяется объем B_E кода ошибки прогнозирования (в битах) с помощью выражения:

$$B_E = 6C_E YX / 1,5 = 4C_E YX. \quad (5)$$

Затем на основе B_E и B_{MC} с использованием выражения (3) для различных пространств формирования многокурных изображений и траекторий перемещения видеокамеры определяется объем B_Σ кода прогнозирования.

Зависимости объема кода прогнозирования от траектории перемещения видеокамеры в пространстве P_1^2

Для пространства P_1^2 перемещения видеокамеры ограничены поперечным (вверх/вниз, влево/вправо – поперек оптической оси), продольным (вперед/назад) перемещением и креном. Если расстояние от видеокамеры до объектной плоскости достаточно велико, то при повороте и тангаже видеокамеры возникает такой же эффект как при ее поперечном перемещении.

Поперечное перемещение видеокамеры в пространстве P_1^2 (перемещение видеокамеры в плоскости, параллельной объектной плоскости) приводит к сдвигу (рис. 3) опорного фрагмента многокурного изображения.

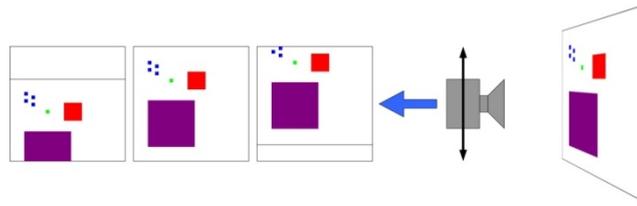


Рис. 3. Схема формирования фрагментов многокурсного изображения при поперечном перемещении видеокамеры в пространстве P_1^2

На рис. 4а приведены зависимости объема B_Σ кода прогнозирования от сдвига изображений. На рисунке использованы следующие обозначения: PMC – ПКД, BMC – БКД, FMC – ККД, SMC – СКД, LBMC – УБКД, LSMC – УСКД, OMC – ОКД. Из рис. 4а следует, что наиболее эффективно прогнозирование на основе ПКД, т. к. оно обеспечивает минимальный объем кода параметров преобразования. ПКД позволяет повысить коэффициент сжатия прогнозируемого фрагмента многокурсного изображения до 1,5 раза по сравнению с ОКД; до 1,7 раза по сравнению с ККД; до 5,9 раза по сравнению с УСКД; до 7,0 раз по сравнению с УБКД; до 8,4 раза по сравнению с СКД; до 9,9 раз по сравнению с БКД.

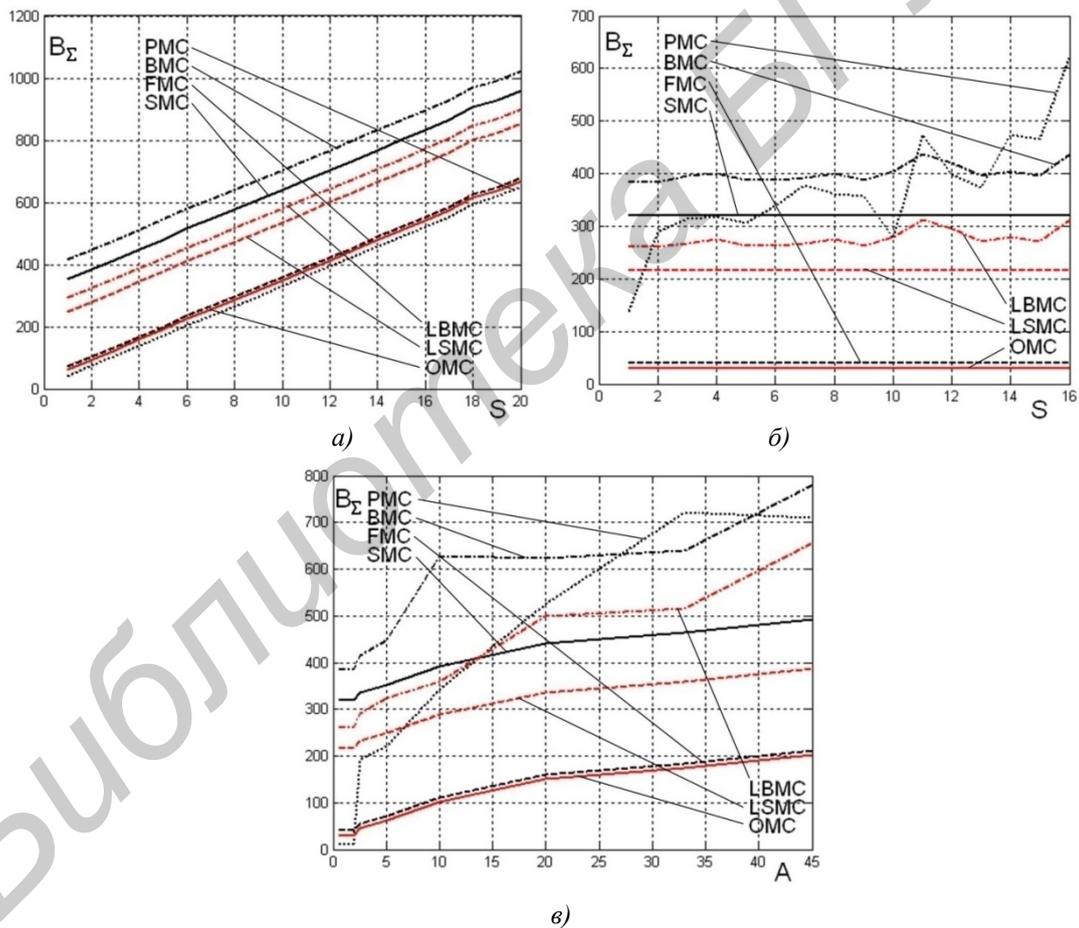


Рис. 4. Зависимости объема B_Σ кода прогнозирования в пространстве P_1^2 :

- а) от сдвига опорного фрагмента при поперечном перемещении видеокамеры;
- б) от растяжения S нижней границы опорного фрагмента при продольном перемещении видеокамеры;
- в) от угла A поворота опорного фрагмента при крене видеокамеры

Продольное перемещение видеокамеры в пространстве P_1^2 (вдоль оптической оси перпендикулярно объектной плоскости) приводит к масштабированию опорного фрагмента

многоракурсного изображения, что выражается в изменении размера (растяжении или сжатии) его границ. На рис. 4б приведены зависимости объемов объема B_{Σ} кода прогнозирования от растяжения нижней границы опорного фрагмента многоракурсного изображения при продольном перемещении камеры в пространстве P_1^2 . Из рис. 4б следует, что при продольном перемещении видеокамеры в пространстве P_1^2 наиболее эффективной является ОКД. Она обеспечивает увеличение коэффициента сжатия до 1,3 раза по сравнению с ККД; до 7,2 раза по сравнению с УСКД; до 10,4 раза по сравнению с УБКД; до 10,7 раза по сравнению с СКД; до 14,5 раз по сравнению с БКД; до 20,9 раз по сравнению с ПКД.

Крен видеокамеры в пространстве P_1^2 приводит к повороту опорного фрагмента многоракурсного изображения. На рис. 4в приведены зависимости объема B_{Σ} кода прогнозирования от угла поворота опорного фрагмента многоракурсного изображения при крене видеокамеры в пространстве P_1^2 . Из рис. 4в следует, что при малом крене (до 2 град) наиболее эффективной является ПКД. Она обеспечивает увеличение коэффициента сжатия до 3,0 раз по сравнению с ОКД; до 4,0 раза по сравнению с ККД; до 21,6 раза по сравнению с УСКД; до 26,0 раз по сравнению с УБКД; до 32,0 раз по сравнению с СКД; до 38,4 раза по сравнению с БКД. При крене более 2 град наиболее эффективной является ОКД. Она обеспечивает увеличение коэффициента сжатия до 1,2 раза по сравнению с ККД; до 5,0 раз по сравнению с УСКД; до 6,4 раз по сравнению с УБКД; до 7,3 раза по сравнению с СКД; до 9,0 раз по сравнению с БКД; до 4,2 раза по сравнению с ПКД.

Зависимости объема кода прогнозирования от траектории перемещения видеокамеры в пространстве P_1^3

Для пространства P_1^3 ограничения на траекторию перемещения видеокамеры отсутствуют. При крене видеокамеры в пространстве P_1^3 имеют место такие же результаты, как для пространства P_1^2 . При повороте/тангаже видеокамеры в пространстве P_1^3 результаты аналогичны результатам при поперечном перемещении видеокамеры в пространстве P_1^2 . При поперечном и продольном перемещении видеокамеры в пространстве P_1^3 имеют место перспективные искажения (перемещения видеокамеры под углом к объектной плоскости сопровождаются неравномерным изменением масштаба в зависимости от расстояния до видеокамеры – эффект параллакса) опорного фрагмента многоракурсного изображения.

Поперечное перемещение видеокамеры в пространстве P_1^3 , приводит к смещению нижней границы опорного фрагмента многоракурсного изображения (рис. 5).

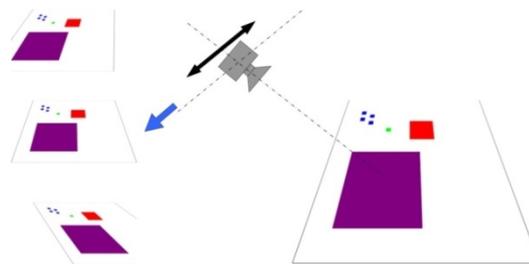


Рис. 5. Схема формирования фрагментов многоракурсного изображения при поперечном перемещении видеокамеры в пространстве P_1^3

На рис. 6а приведены зависимости объема B_{Σ} кода прогнозирования от горизонтального смещения нижней границы опорного фрагмента многоракурсного изображения при поперечном перемещении видеокамеры в пространстве P_1^3 . Из рис. 6а следует, что наиболее эффективной

является ОКД. Она обеспечивает увеличение коэффициента сжатия до 1,1 раза по сравнению с ККД; до 1,7 раза по сравнению с ПКД; до 3,7 раза по сравнению с УСКД; до 4,5 раз по сравнению с УБКД; до 5,1 раз по сравнению с СКД; до 6,3 раза по сравнению с БКД.

На рис. 6б приведены зависимости объема V_{Σ} кода прогнозирования от вертикального смещения нижней границы опорного фрагмента многокурсного изображения при продольном перемещении видеокамеры в пространстве P_1^3 . Из рис. 6б следует, что при малом перемещении видеокамеры (при вертикальном смещении нижней границы опорного фрагмента примерно до 1,3 пикселей) наиболее эффективной является ПКД. Она обеспечивает увеличение коэффициента сжатия до 3,0 раз по сравнению с ОКД; до 4,0 раза по сравнению с ККД; до 21,6 раза по сравнению с УСКД; до 26,0 раз по сравнению с УБКД; до 32,0 раз по сравнению с СКД; до 38,4 раза по сравнению с БКД. При вертикальном смещении нижней границы опорного фрагмента более 1,3 пикселей наиболее эффективной является ОКД. Она обеспечивает увеличение коэффициента сжатия до 4,3 раза по сравнению с ККД; до 6,1 раза по сравнению с ПКД; до 7,2 раза по сравнению с УСКД; до 9,9 раза по сравнению с УБКД; до 10,7 раза по сравнению с СКД; до 14,0 раз по сравнению с БКД.

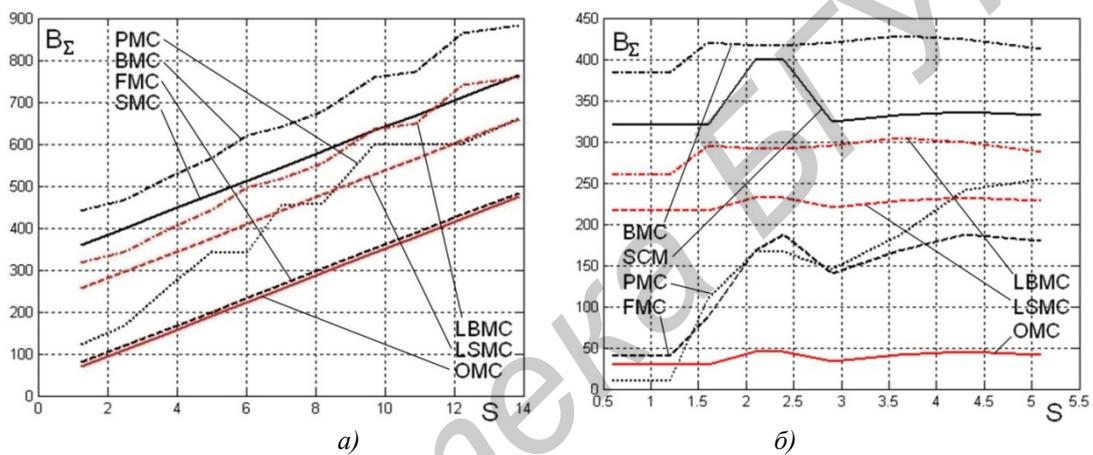


Рис. 6. Зависимости объема V_{Σ} кода прогнозирования в пространстве P_1^3 :

а) от горизонтального смещения S нижней границы опорного фрагмента при поперечном перемещении видеокамеры; б) от вертикального смещения S нижней границы опорного фрагмента при продольном перемещении видеокамеры

Заключение

Разработаны геометрические модели прогнозирования многокурсных изображений, передаваемых с борта БЛА. Данные модели позволили определить зависимости коэффициента сжатия от условий формирования многокурсных изображений и траекторий перемещения видеокамеры для различных методов прогнозирования.

GEOMETRIC MODELS AND PREDICTION METHODS IN CODING AND TRANSMISSION OF THE MULTI-ANGLE IMAGES FROM THE UNMANNED AERIAL VEHICLES

V.YU. TSVIATKOU

Abstract

The geometric models for the predict of multi-angle images transmitted from the UAV are developed. The dependences of the compression ratio on the conditions of formation of multi-angle image and the path of the video camera for a variety of forecasting methods are established.

Список литературы

1. Wallace, G.K. The JPEG still picture compression standard / G.K. Wallace // Communications of the ACM, 1991. – Vol. 34. – № 4. – P. 30–44.
2. Yu, W. Advantages of Motion JPEG2000 in Video Processing / W. Yu, R. Qiu, J. Fritts // Proc. SPIE, Visual Communications and Image Processing. – 2002. – Vol.4671. – P. 635–645.
3. Iain, R. H.264 and MPEG-4 Video Compression and Video Coding for Next-generation Multimedia / R. Iain // The Robert Gordon University. Aberdeen. UK. John Wiley & Sons Ltd., 2003. – 281 p.
4. Sullivan, G.J. Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard / G.J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han, T. Wiegand // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2012. – Vol. 22, № 12. – P. 1649–1668.
5. Цветков, В.Ю. Геометрические модели много ракурсных изображений и проективная компенсация движения камеры / В.Ю. Цветков // Докл. БГУИР. 2014. № 8 (86). С. 41–47.
6. Конопелько, В.К. Формирование и обработка образов в помехоустойчивом кодировании и передаче изображений : монография / В.К. Конопелько, В.Ю. Цветков. Минск : Бестпринт, 2015. – 248 с.
7. Борискевич, А.А. Метод масштабируемого вложенного кодирования изображений на основе иерархической кластеризации вейвлет-структур / А.А. Борискевич, В.Ю. Цветков // Докл. НАН Беларуси. 2009. Т. 53. № 3. С. 38–48.