

УДК 528.85

Е. П. Петров, Н. Л. Харина, К. Ю. Албахтин

МЕТОД СОВМЕЩЕНИЯ ПЕРЕКРЫВАЮЩИХСЯ ОБЛАСТЕЙ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

В статье предлагается метод совмещения перекрывающихся областей спутниковых снимков на основе выделения контуров. Выделение контуров основано на математической модели изображения на основе двумерной цепи Маркова и требует для своей реализации минимум вычислительных ресурсов. При этом не требуется использование полноразрядного изображения, достаточно двух старших разрядных двоичных изображений, объединенных в плоскость.

Ключевые слова: спутниковый снимок, двумерная цепь Маркова, выделение контуров, нефотограмметрические методы сшивки.

В настоящее время аэрофотоснимки, полученные с борта космических аппаратов (КА) находят широко применение во многих сферах деятельности, начиная от оборонной сферы до сельского хозяйства. Для получения высококачественных изображений земной поверхности на борту КА используется сканирующий датчик, состоящий из оптико-электронных преобразователей (ОЭП). Например, на борту КА «Ресурс-ДК» используется датчик состоящий из трех ОЭП, расположенных в фокальной плоскости датчика перпендикулярно направлению полета спутника с взаимным смещением друг относительно друга [1, 2]. В состав ОЭП входят 36 матриц, расположенных в шахматном порядке и сгруппированных в 6 зон компенсации, одна из которых схематично представлена на рис. 1. Каждая зона имеет собственную частоту опроса входящих в нее матриц. При этом четные и нечетные матрицы установлены с небольшим перекрытием полей обзора, а размерность каждой из них составляет 1024×128 элементов.

Каждый ОЭП формирует шесть изображений в результате опроса шести зон компенсации. Моменты времени опроса зон компенсации определяются текущей частотой опроса для каждой зоны и не совпадают для всех зон. Изображение, сформированное в одной зоне компенсации, в целом представляет собой шесть перекрывающихся и сдвинутых друг относительно друга в кадровом и строчном направлениях фрагментов (рис. 2) [1, 2].

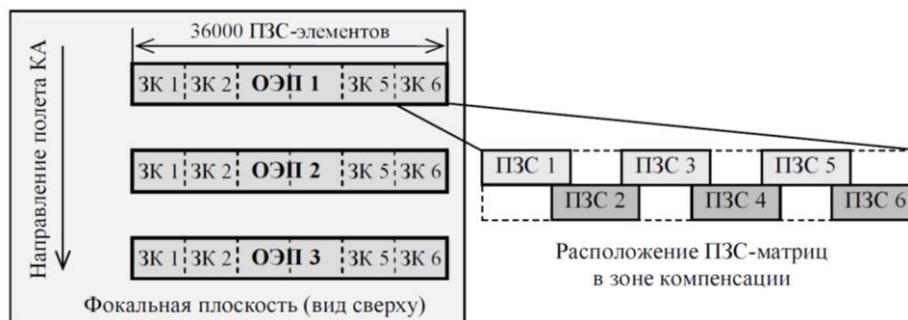


Рис. 1.



Рис. 2. Пример составного изображения



Рис. 3. Пример дефекта сшивки

При дешифрировании спутниковых изображений необходимо произвести совмещение соседних полос или частей изображения таким образом, чтобы полученное в результате изображение не содержало перекрывающихся и повторяющихся областей. При этом могут возникать дефекты, показанные на рис. 3.

Все методы сшивки спутниковых снимков условно подразделяются на две категории: фотограмметрические и нефотограмметрические методы сшивки по-

лос спутниковых изображений. Фотограмметрические методы слишком медленны, сложны в реализации и требуют дополнительных данных, которые включают в себя параметры модели съемки и полета. Поэтому наибольшее распространение получили нефотограмметрические методы, которые выполняют сшивку, опираясь только на исходные изображения, без учета имеющихся паспортных параметров съемочной системы.

В работе предлагается метод совмещения перекрывающихся областей, состоящий из следующих этапов:

- для каждого кадра составного цифрового изображения (ЦИ) (рис. 2) выделяются контуры объектов [3];

- совмещение контуров перекрывающихся областей соседних кадров.

Для выделения контуров используются только старшие 2-4 разряда ЦИ, объединенные в группу разрядных цифровых изображений (ГРЦИ). Исследования показали, что для выделения замкнутого контура 8-10 разрядных ЦИ достаточно 2-3 РДИ, для 16-разрядных ЦИ – 2-4 РДИ.

Объединим в g -разрядном ЦИ l старших РДИ, для наглядности возьмем $l=2$. На рис.4,5 представлена группа из 2 старших РДИ 8-разрядного ЦИ, в каждом столбце которой 2 бинарных элемента могут принимать в совокупности четыре ($N = 2^l = 2^2$) равновероятных ($p_1 = p_2 = p_3 = p_4$) состояний.

Если РДИ – двумерная цепь Маркова двумя состояниями [4], то будем полагать, что ГРЦИ тоже двумерная цепь Маркова с вектором из N вероятностей начальных состояний

$$P = \|p_1, p_2, \dots, p_N\|^T \quad (1)$$

и матрицами вероятностей перехода (МВП) из i -го состояния в j -е за один шаг

$${}^1\Pi = \|\pi_{ij}\|_{N \times N}, \quad {}^2\Pi = \|\pi_{ij}\|_{N \times N} \quad i \neq j. \quad (2)$$

Элементы МВП (2) удовлетворяют условию нормировки

$$\sum_{j=1}^N {}^q\pi_{ij} = 1, \quad i \in N, \quad q = \overline{1, 2}; \quad (3)$$

и стационарности

$$p_i = \sum_{j=1}^N p_j \pi_{ij}, i \in N. \tag{4}$$

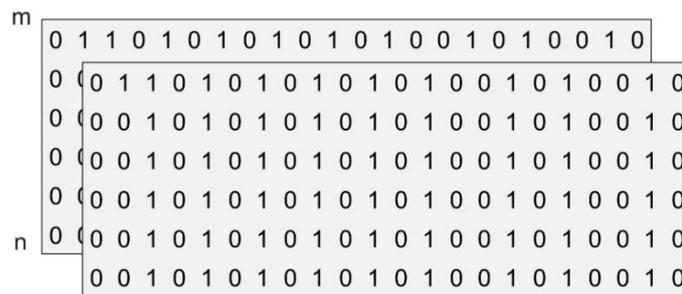


Рис. 4. Старшие РДИ в ЦИ

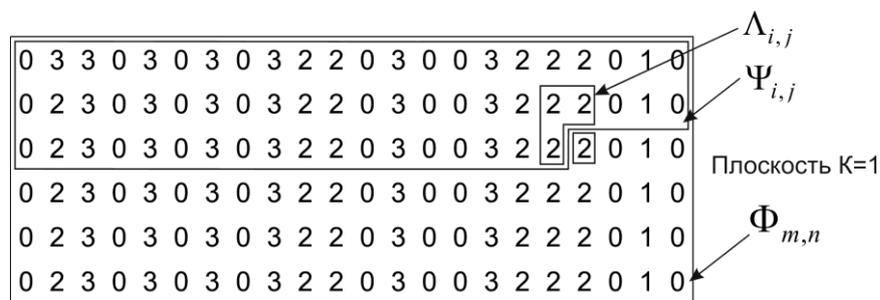


Рис. 5. ГРЦИ с четырьмя состояниями M_{ij} ($i, j = \overline{1,4}$)

На рис. 6 приведена модель ГРЦИ, удовлетворяющая априорно заданным: вектору (1) и МВП (2) [5].

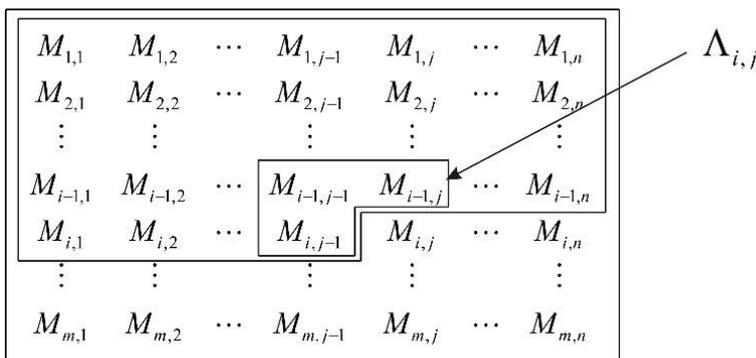


Рис. 6. Модель ГРЦИ

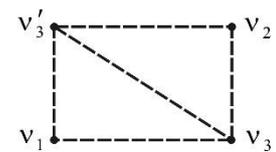


Рис. 7. Окрестность $\Lambda_{i,j}$ эле-

мента $v_3 = M_{i,j}$, где:

$$v_1 = M_{i,j-1} \quad v_2 = M_{i-1,j}$$

$$v'_3 = M_{i-1,j-1}$$

Поэтому будем полагать, каждый элемент $M_{i,j}$ ГРЦИ, (рис.6) зависит только от соседних ранее известных элементов ГРЦИ, образующих окрестность элемента $v_3 \Lambda_{i,j}$ (рис. 7).

Вероятности перехода от комбинаций состояний элементов окрестности (рис. 4) образуют МВП размерностью $N \times 2^N$ вида [5]

$$\Pi = \begin{pmatrix} \pi_{iii} & \pi_{iji} & \pi_{iki} & \pi_{ili} & \pi_{jii} & \pi_{jji} & \pi_{jki} & \pi_{jli} & \dots & \pi_{lii} & \pi_{lji} & \pi_{lki} & \pi_{lli} \\ \pi_{ijj} & \pi_{ijj} & \pi_{ikj} & \pi_{ili} & \pi_{jij} & \pi_{jji} & \pi_{jkj} & \pi_{jlj} & \dots & \pi_{lij} & \pi_{ljj} & \pi_{lkj} & \pi_{llj} \\ \pi_{iik} & \pi_{ijk} & \pi_{ikk} & \pi_{ilk} & \pi_{jik} & \pi_{jjk} & \pi_{jkk} & \pi_{jlk} & \dots & \pi_{lik} & \pi_{ljk} & \pi_{lkk} & \pi_{llk} \\ \pi_{iil} & \pi_{ijl} & \pi_{ikl} & \pi_{ill} & \pi_{jil} & \pi_{jil} & \pi_{jkl} & \pi_{jll} & \dots & \pi_{lil} & \pi_{ljl} & \pi_{lkl} & \pi_{lll} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Элементы первого столбца МВП Π (5) связаны с элементами матрицы (2) следующими соотношениями, остальные вычисляются аналогично:

$$\pi_{iii} = \frac{{}^1\pi_{ii} \cdot {}^2\pi_{ii}}{{}^3\pi_{ii}} \quad \pi_{ijj} = \frac{{}^1\pi_{ij} \cdot {}^2\pi_{ij}}{{}^3\pi_{ii}} \quad \pi_{iik} = \frac{{}^1\pi_{ik} \cdot {}^2\pi_{ik}}{{}^3\pi_{ii}} \quad \pi_{iil} = \frac{{}^1\pi_{il} \cdot {}^2\pi_{il}}{{}^3\pi_{ii}}, \quad (6)$$

где ${}^3\pi_{ij}$ - элементы матрицы ${}^3\Pi = {}^1\Pi \times {}^2\Pi'$, связывающей V_3 с V_3' .

Элементы МВП (5) удовлетворяют условию нормировки и стационарности.

Основой метода является процедура предсказания элементов ГРЦИ, позволяющая удалить статистическую избыточность ЦИ, при этом все «неверно предсказанные» пиксели составляют контур объектов изображения. Формализованное описание метода выделения контуров объектов:

1. Объединяются в плоскость l старших РДИ.
2. Для ГРЦИ вычисляются МВП по горизонтали ${}^1\Pi$ и вертикали ${}^2\Pi$, соответственно;
3. Исходя из МВП ${}^1\Pi$ и ${}^2\Pi$ вычисляется МВП Π .
4. Прогнозируется элемент \hat{M}_{ij} на основе МВП и окрестности $\Lambda_{i,j}$.
5. Если $M_{ij} = \hat{M}_{ij}$, то элемент предсказан верно и заменяется значением 0;
6. Если $M_{ij} \neq \hat{M}_{ij}$, элемент M_{ij} предсказан неверно и заменяется значением 1;
7. Формирование контура ЦИ.

Для оценки эффективности работы метода шивки набор тестовых ЦИ искусственно разделен на 4 пересекающихся кадра с перекрытием в 8 пикселей.

Для каждого кадра был применен метод выделения контуров и выполнено совмещение кадров по принципу наибольшего совпадения контуров в пересекающейся области. На рис. 8 приведено одно из тестовых ЦИ, выделенные контура для каждого кадра (рис. 9) и результат совмещения кадров (рис.10). Черные полосы на рис.10 демонстрируют почти полное совпадение контуров в области перекрытия кадров.



Рис. 8. Тестовое ЦИ, разделенное на 4 перекрывающихся кадра

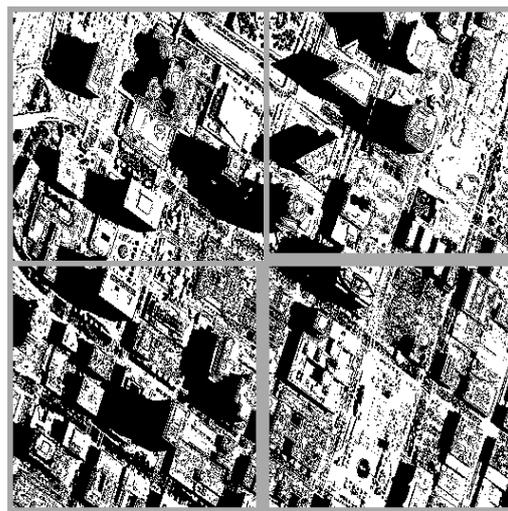


Рис. 9. Выделенные контура на кадрах составного ЦИ



Рис. 10. Результат совмещения контуров

Анализ результатов демонстрирует эффективность предложенного метода. К достоинствам метода можно отнести отсутствие вычислительных операций, возможность совмещения ЦИ произвольной разрядности и простоту реализации.

Список литературы

1. Алгоритмы и технологии обработки информации от КА «Ресурс-ДК» / О. А. Гомозов, В. В. Еремеев, А. Е. Кузнецов, В. В. Лось, О. А. Пресняков, К. К. Соловьева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. В. 5. Т. 1. С. 69–76.
2. Гусев В. Ю. Методы сшивки перекрывающихся полос спутниковых изображений на начальной стадии обработки // Авиация и космонавтика – 2012: тез. докл. 11-й Междунар. конф. СПб.: Мастерская печати, 2012. С. 253–254.
3. Петров Е. П., Харина Н. Л., Чукаев К. Н. Метод выделения контуров объектов на спутниковых снимках минимальными вычислительными ресурсами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 304–311.
4. Петров Е. П., Харина Н. Л., Медведева Е. В. Математическая модель цифровых полутоновых изображений Земли из космоса // Актуальные проблемы ракетно-космической техники: материалы II Всерос. НТК. Самара, 2011. С. 179–185.
5. Петров Е. П., Харина Н. Л., Ржаникова Е. Д. Математическая модель цифровых полутоновых изображений на основе цепей Маркова с несколькими состояниями // Нелинейный мир. 2013. Т. 11. № 7. С. 487–492.

ПЕТРОВ Евгений Петрович – доктор технических наук, заведующий кафедрой РЭС, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: petrov@vyatsu.ru

ХАРИНА Наталья Леонидовна – кандидат технических наук, доцент кафедры РЭС, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: harina@vyatsu.ru

АЛБАХТИН Кирилл Юрьевич – магистрант кафедры РЭС, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: kiryaalbahtin@mail.ru