

## КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОТ ВОСХОДЯЩЕГО И НИСХОДЯЩЕГО ВИТКОВ ОРБИТЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

*Москвитин А.Э., в.н.с. НИИ «Фотон» РГРТУ, к.т.н., foton@rsreu.ru;*

*Ушенкин В.А., с.н.с. НИИ «Фотон» РГРТУ, к.т.н., foton@rsreu.ru.*

### ASCENDING AND DESCENDING PASS SAR IMAGE FUSION BASED ON FUZZY LOGIC

*Moskvitin A.E., Ushenkin V.A.*

*The task of ascending and descending pass SAR image fusion is considered. These images correspond to the observation of the scene from different sides. The goal of this fusion is to reduce amount of geometric distortions and shading. An algorithm of fusion, based on fuzzy logic and strict computation of layover and shadow masks, is proposed.*

**Key words:** SAR image, ascending pass, descending pass, orbit, fuzzy logic, fusion.

**Ключевые слова:** радиолокационное изображение, восходящий виток, нисходящий виток, орбита, нечеткая логика, комплексирование.

#### Введение

При радиолокационном наблюдении Земли из космоса неизбежен боковой обзор, приводящий к геометрическим искажениям и затенению объектов на изображениях. К геометрическим искажениям относятся разрывы и переналожения. Под разрывом понимается ситуация, когда узкая линия на исходном радиолокационном изображении (РЛИ) в процессе ортотрансформирования растягивается и становится широкой областью с крайне низким пространственным разрешением по одному из измерений. Под переналожением понимается ситуация, когда отклики на высокие объекты, имеющие большую наземную дальность, накладываются на низкие объекты, имеющие меньшую наземную дальность. Разрывы и переналожения характерны для восходящих склонов рельефа (высота которых увеличивается с дальностью), а затенения – для нисходящих.

При съемке на восходящем и нисходящем витках орбиты космический аппарат, как правило, оказывается с противоположных сторон (слева и справа) от наблюдаемого участка земной поверхности. Следовательно, восходящие склоны рельефа на одном РЛИ становятся нисходящими на другом и наоборот. Из-за этого в горной местности на изображениях наблюдается инверсия радиояркости, а также разное расположение разрывов, переналожений и областей радиотени (рис. 1), что позволяет проблемные фрагменты одного РЛИ заполнить данными другого РЛИ, на котором эти проблемы не наблюдаются. Однако, довольно часто встречаются и ситуации, когда затенение на одном РЛИ соответствует разрыву на другом. В этом случае на обоих РЛИ не содержится сигнала, адекватно описывающего наблюдаемую сцену. Тем не менее, таких участков на результате комплексирования оказывается гораздо меньше, чем на исходных РЛИ. Это позволяет представить на нем

*Рассматривается задача объединения радиолокационных изображений, полученных на восходящем и нисходящем витках орбиты космического аппарата и соответствующих наблюдению сцены с разных сторон. Целью объединения является уменьшение количества геометрических искажений и затенений. Предлагается алгоритм комплексирования таких изображений, основанный на нечеткой логике и строгом расчете масок разрывов, переналожений и затенений.*

наблюдаемую сцену достаточно полно. Таким образом, основным назначением комплексирования РЛИ, полученных на восходящем и нисходящем витках, является формирование такого РЛИ, на котором наблюдается минимум теней, разрывов и переналожений, обусловленных трехмерной структурой наблюдаемой сцены.

#### Анализ известных алгоритмов комплексирования

Исходными данными для комплексирования выступают два ортотрансформированных РЛИ одной местности, снятых на восходящем и нисходящем витках орбиты КА, и трехмерная модель наблюдаемой сцены (цифровая модель рельефа или местности, ЦМР или ЦММ), с помощью которой были ортотрансформированы оба изображения. Ортотрансформированные РЛИ должны сопровождаться информацией об исходной геометрии съемки, на основе которой восстанавливается обратный закон координатного соответствия, использовавшийся при ортотрансформировании.

С помощью указанного обратного закона и опорной трехмерной модели для каждого из РЛИ строится маска разрывов (включая переналожения) и затенений. Одно из РЛИ выбирается базовым, а другое – дополнительным. Обратим внимание, что результат комплексирования зависит от этого выбора, поскольку в него помещаются, в первую очередь, данные из основного РЛИ, а данные дополнительного РЛИ используется лишь в участках, где основные данные не обладают требуемым качеством. В [1] рекомендуют в качестве основного выбирать РЛИ, снятое с большим отклонением на надира, поскольку на нем содержится меньше геометрических искажений (разрывов и переналожений). Дополнительное РЛИ и соот-

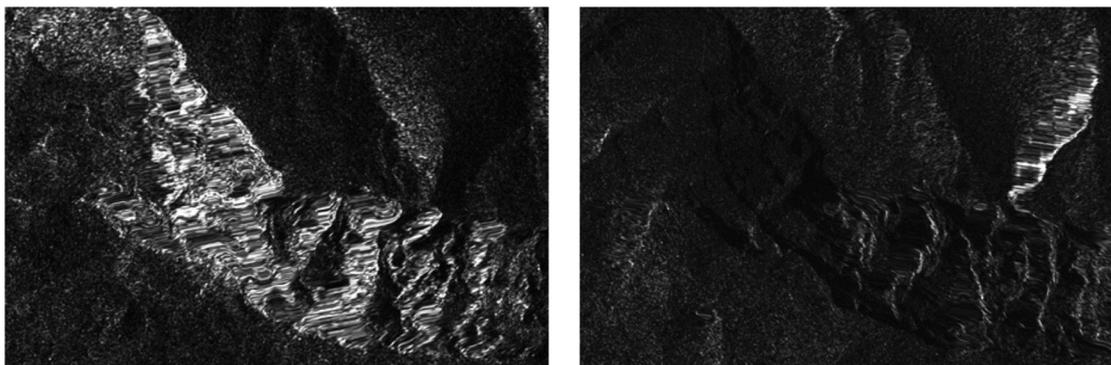


Рис. 1. Ортоотформированные РЛИ одной местности, полученные на восходящем и нисходящем витках орбиты

ветствующие ему маски трансформируются в геометрию основного РЛИ, а результат комплексирования формируется исходя из следующих правил [1]:

1) если пиксель основного РЛИ не относится к областям разрыва и затенения, то он переносится на результат комплексирования;

2) если пиксель основного РЛИ попадает в область разрыва или тени, то анализируется дополнительное РЛИ:

– если на дополнительном РЛИ наблюдается разрыв, то результат комплексирования формируется из основного РЛИ;

– если на дополнительном РЛИ наблюдается тень, то результат комплексирования может быть сформирован из любого РЛИ (с предпочтением тени перед разрывом);

– если на дополнительном РЛИ нет ни тени, ни разрыва, то результат комплексирования формируется из дополнительного РЛИ.

В работе [2] предлагается модификация правил комплексирования, делающая его инвариантным к выбору основного и дополнительного РЛИ: когда на обоих РЛИ не наблюдается ни разрывов, ни теней, выполняется их дополнительное объединение. Для этого оценивается степень заметности точечного объекта на каждом из РЛИ. Если на одном РЛИ пиксель оказывается значительно более заметным, чем на другом, то он помещается в результат комплексирования. В противном случае сигналы изображений усредняются. Однако указанный подход справедлив лишь тогда, когда детальность опорной трехмерной модели существенно ниже, чем у комплекслируемых РЛИ. Иначе практически все наиболее заметные пиксели изображений, обычно обусловленные угловыми отражателями на местности, будут соответствовать разрывам, а попытка сохранить наиболее заметные пиксели будет противоречить первоначальной цели комплексирования – устранению разрывов и теней на РЛИ. В настоящей работе мы ограничимся исходной целью комплексирования и не будем пытаться объединять фрагменты РЛИ, не попавшие в области теней и разрывов. Тем не менее, в дальнейшем будет показано, как это можно сделать, если возникнет такая необходимость.

Рассмотрим задачу построения масок разрывов и затенений. В работе [1] предлагается примитивный подход к такому построению. Для каждого пикселя ортоотформированного РЛИ вычисляется вектор его визирования и наклон рельефа в направлении дальности. Если

склон рельефа восходящий (высота возрастает с увеличением дальности), то разрыв (переналожение) образуется, когда сумма углов наклона рельефа и угла визирования оказывается равна (больше)  $90^\circ$ . Если склон нисходящий, то тень образуется, когда угол наклона рельефа больше угла визирования. При этом не рассматривается важный вопрос, как корректно оценить локальный угол наклона земной поверхности в условиях низкой детальности и возможного наличия высокочастотного шума на опорной трехмерной модели. Кроме того, не учитываются два аспекта. Во-первых, разрыв в виде области на ортоотформированном РЛИ, сильно размытой в направлении дальности, может образоваться, не только когда направление визирования строго перпендикулярно локальному участку земной поверхности, но и когда угол между ними близок к  $90^\circ$ . Во-вторых, область тени может быть на участке с любым наклоном рельефа, если он загорожен высотным объектом. Низкое качество построенных масок в [1] пытаются компенсировать их последующей обработкой с помощью морфологических фильтров. В настоящей работе предлагается более корректно оценивать затенение по методу трассировки лучей, а наличие разрывов – по степени расширения/сжатия пикселей в направлении дальности в процессе ортоотформирования.

Другой проблемой комплексирования является наличие «швов» – резких границ между фрагментами, заполненными данными из разных исходных РЛИ, что иллюстрирует рис. 2. Для решения указанной проблемы в настоящей работе предлагается изменить правила комплексирования, построив их на базе нечеткой логики.

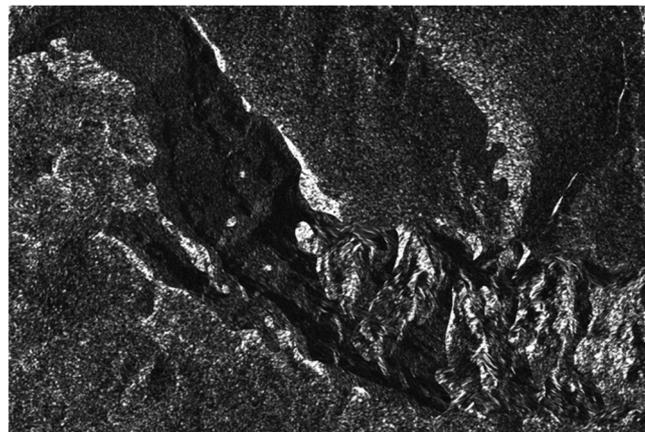
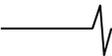


Рис. 2. «Швы» на результате комплексирования РЛИ, полученных на восходящем и нисходящем витках орбиты



Таким образом, **цель настоящей работы** составляет разработка алгоритма комплексирования радиолокационных изображений от восходящего и нисходящего витков орбиты, основанного на нечеткой логике и строгом расчете масок затенений, разрывов и переналожений и позволяющего повысить качество комплексирования по сравнению с известными алгоритмами.

### Построение маски разрывов и переналожений

Для получения маски разрывов построим карту растяжения пикселей исходного РЛИ по отношению к ортотрансформированному. Карту будем получать в картографической проекции, а шаг дискретизации выберем в соответствии с пространственным разрешением опорной трехмерной модели.

В каждой точке с картографическими координатами  $(N_k, E_k)$  степень растяжения определяется следующим образом. Координаты  $(N_k, E_k, h(N_k, E_k))$  по обратному закону (с использованием аппроксимирующей сетки) пересчитываются в исходную геометрию радиолокационного изображения «дальность – азимут»  $(R_{\perp}, \eta_{\perp})$ . По прямому закону (тоже с использованием аппроксимирующей сетки) координаты  $(R_{\perp} + \Delta R, \eta_{\perp}, h(N_k, E_k))$ , где  $\Delta R$  – шаг дискретизации дальности, пересчитываются в  $(\bar{N}_k, \bar{E}_k)$ . Расстояние  $d_0$  между  $(\bar{N}_k, \bar{E}_k)$  и  $(N_k, E_k)$  соответствует исходному размеру пикселя РЛИ без растяжения и сжатия, а вектор  $(\bar{N}_k - N_k, \bar{E}_k - E_k)$  показывает локальное направление дальности в заданной картографической проекции. Отступим от точки  $(N_k, E_k)$  на величину, равную разрешению трехмерной модели  $d_{DEM}$ , в двух противоположных направлениях, задаваемых вектором  $(\bar{N}_k - N_k, \bar{E}_k - E_k)$ . В результате получим две точки  $(N_{k1}, E_{k1})$  и  $(N_{k2}, E_{k2})$ . Переведем  $(N_{k1}, E_{k1}, h(N_{k1}, E_{k1}))$  и  $(N_{k2}, E_{k2}, h(N_{k2}, E_{k2}))$  по обратному закону в координаты  $(R_{\perp 1}, \eta_{\perp 1})$  и  $(R_{\perp 2}, \eta_{\perp 2})$ . Степень растяжения пикселя определяется отношением:

$$k_d(N_k, E_k) = \frac{d_0 |R_{\perp 2} - R_{\perp 1}|}{2d_{DEM}} \quad (1)$$

Формула (1) не учитывает случай, когда ортотрансформирование выполняется с понижением пространственного разрешения относительно исходного РЛИ. В этом случае небольшие сжатия пикселей становятся несущественными, что учитывает следующая формула:

$$k_d(N_k, E_k) = \frac{\max(d_0, d_{опмо}) |R_{\perp 2} - R_{\perp 1}|}{2d_{DEM}} \quad (2)$$

где  $d_{опмо}$  – шаг пикселя ортотрансформированного изображения.

Значения  $k_d(N_k, E_k)$ , существенно меньше единицы (сильное сжатие), соответствуют разрывам, а отрицательные значения  $k_d(N_k, E_k)$  – переналожениям.

Отметим, что в оценке  $k_d(N_k, E_k)$  косвенным образом учитывается наклон рельефа в виде сопоставления двух высот  $h(N_{k1}, E_{k1})$  и  $h(N_{k2}, E_{k2})$ . Поскольку рас-

стояние между точками  $(N_{k1}, E_{k1})$  и  $(N_{k2}, E_{k2})$  составляет удвоенное пространственное разрешение опорной трехмерной модели  $d_{DEM}$ , оценка наклона содержит минимум ошибок, вызванных интерполяцией отсчетов опорной высоты. Если на опорной трехмерной модели содержится высокочастотный шум, он может негативно сказаться на качестве построенной маски разрывов. В этом случае требуется предварительное сглаживание опорной трехмерной модели.

Для построения маски разрывов и переналожений в разрешении ортотрансформированного изображения выполняется интерполяция полученной карты растяжения пикселей с помощью фильтра Ланцоша, обеспечивающего гладкость результата интерполяции. Четкая маска разрывов и переналожений может быть получена из интерполированной карты растяжения пикселей путем пороговой обработки. К разрывам (включая переналожения) относятся все пиксели  $(N_k, E_k)$ , для которых  $k_d(N_k, E_k)$  оказывается меньше выбранного порога.

Чтобы получить нечеткую маску, необходимо задать два порога, один из которых соответствует полному отсутствию разрыва и переналожения, другой – ярко выраженному разрыву или переналожению. Между выбранными порогами значение нечеткой маски будет линейно изменяться от нуля до единицы:

$$\mu(L) = \begin{cases} 1, & k_d \leq 0,5, \\ 1 - 4(k_d - 0,5), & 0,5 < k_d < 0,75, \\ 0, & k_d \geq 0,75. \end{cases} \quad (3)$$

### Построение маски затенений

Для получения маски затенений сформируем карту возвышений объектов наблюдаемой сцены над границей тени, полученной по методу трассировки лучей. Геометрический смысл такого возвышения иллюстрирует рис. 3. Карта возвышений над границей тени формируется в картографической проекции с шагом дискретизации, соответствующим детальности опорной трехмерной модели, как и рассмотренная выше карта растяжения пикселей.



Рис. 3. Геометрический смысл возвышения над границей тени

Трассировку луча удобнее всего выполнять в геометрии исходного РЛИ, поскольку в этом случае луч направлен строго вдоль строки изображения. Однако здесь возникает проблема, связанная с трансформированием опорной трехмерной модели в данную геометрию, которое сопровождается для каждого пикселя сложными итерационными вычислениями и требует много времени. В то же время трансформирование трехмерной модели в картографическую проекцию осу-

ществляется гораздо проще и быстрее. К сожалению, в разных точках картографической проекции трассируемый луч может быть направлен произвольным образом, что в общем случае не позволяет эффективно организовать трассировку множества лучей. Однако для ряда картографических проекций (например, для проекций Гаусса-Крюгера и УТМ) обеспечивается условие, что проекция направления трассировки луча на ось  $N_k$  не изменяет знак по всему полю снимка. Знак этой проекции определяется наклоном орбиты КА и направлением бокового обзора (влево или вправо). В рамках одного сеанса съемки не изменяются ни наклонение орбиты, ни направление бокового обзора, именно поэтому знак проекции направления трассировки на ось  $N_k$  остается постоянным. Таким образом, для наиболее распространенных картографических проекций Гаусса-Крюгера и УТМ можно эффективно организовать одно-временную трассировку сразу всех лучей, двигаясь по растру сверху вниз или снизу вверх (в зависимости от проекции направления трассировки на ось  $N_k$ ).

Для каждого пикселя  $(N_k, E_k)$  аналогично построению карты расширения пикселей определяется направление трассировки луча в виде вектора  $(\bar{N}_k - N_k, \bar{E}_k - E_k)$ . В противоположном направлении ищется точка  $(\tilde{N}_{k0}, \tilde{E}_{k0})$  предыдущей обработанной строки, для которой известна высота границы тени. Отрезок между точками  $(\tilde{N}_{k0}, \tilde{E}_{k0})$  и  $(N_k, E_k)$  разбивается на несколько равных частей, длина которых  $d_m$  не превышает  $d_{DEM}$ , с помощью точек  $(\tilde{N}_{ki}, \tilde{E}_{ki})$ ,  $i = \overline{1, I_m - 1}$ . Для каждой  $i$ -й точки находится высота границы тени:

$$h_m(\tilde{N}_{ki}, \tilde{E}_{ki}) = \max \left( h(\tilde{N}_{ki}, \tilde{E}_{ki}), h_m(\tilde{N}_{ki-1}, \tilde{E}_{ki-1}) - \frac{d_m}{\text{tg} \alpha_{над}} \right), \quad (4)$$

где  $\alpha_{над}$  – угол отклонения направления зондирования от надира.

Для точки  $(N_k, E_k)$  возвышение над границей тени определяется как

$$\Delta h_m(N_k, E_k) = h(N_k, E_k) - h_m(\tilde{N}_{kI_m-1}, \tilde{E}_{kI_m-1}) + \frac{d_m}{\text{tg} \alpha_{над}}. \quad (5)$$

Отрицательные значения  $\Delta h_m$  соответствуют областям радиотени. Полученная карта значений  $\Delta h_m(N_k, E_k)$  интерполируется с помощью фильтра Ланцоша, а затем путем пороговой обработки из нее формируется нечеткая маска теней:

$$\mu(S) = \begin{cases} 1, & \frac{\Delta h_m \text{tg} \alpha_{над}}{d_m} \leq 0, \\ 1 - \frac{10 \Delta h_m \text{tg} \alpha_{над}}{3 d_m}, & 0 < \frac{\Delta h_m \text{tg} \alpha_{над}}{d_m} < 0,3, \\ 0, & \frac{\Delta h_m \text{tg} \alpha_{над}}{d_m} \geq 0,3. \end{cases} \quad (6)$$

### Нечеткие правила комплексирования

Для построения нечетких правил комплексирования формализуем с помощью математической логики пра-

вила, предложенные в [1]. Пусть  $L_1$  и  $L_2$  – булевы признаки наличия разрыва на исходных РЛИ, а  $S_1$  и  $S_2$  – булевы признаки затенения, тогда:

$$s_{комн} = w(\bar{L}_2 \wedge (S_1 \wedge \bar{S}_2 \vee L_1))s_1 + w(\bar{L}_2 \wedge (S_1 \wedge \bar{S}_2 \vee L_1))s_2, \quad (7)$$

где  $s_{комн}$  – сигнал результата комплексирования,  $s_1$  – сигнал основного РЛИ,  $s_2$  – сигнал дополнительного

$$\text{РЛИ, } w(x) = \begin{cases} 1, & x - \text{истина,} \\ 0, & x - \text{ложь.} \end{cases}$$

Для перехода к нечеткой логике заменим булевы признаки  $L_1, L_2, S_1$  и  $S_2$  нечеткими переменными, степени истинности которых задаются в соответствии с (3) и (6). Значения порогов в (3) и (6) можно варьировать с учетом соотношения пространственных разрешений опорной трехмерной модели и РЛИ, а также с учетом желаемой плавности переходов от одного РЛИ к другому на результате их комплексирования.

Конъюнкции и дизъюнкции в (7) заменим нечеткими аналогами на основе следующей  $T$ -нормы:

$$T(\mu_1, \mu_2) = \mu_1 \mu_2. \quad (8)$$

$T$ -норма определяет степень истинности результата нечеткой конъюнкции. Степень истинности результата дизъюнкции определяется  $T$ -конормой, которая для  $T$ -нормы (8) имеет вид:

$$S(\mu_1, \mu_2) = \mu_1 + \mu_2 - \mu_1 \mu_2. \quad (9)$$

Наконец, строго единичные и нулевые веса в (7) заменим степенями истинности соответствующих нечетких логических выражений:

$$s_{комн} = \mu(\bar{L}_2 \wedge (S_1 \wedge \bar{S}_2 \vee L_1))s_1 + \mu(\bar{L}_2 \wedge (S_1 \wedge \bar{S}_2 \vee L_1))s_2, \quad (10)$$

За счет того, что степени истинности вычисляются для двух взаимно противоречивых логических выражений, сумма весов, с которыми суммируются  $s_1$  и  $s_2$ , всегда оказывается равной единице.

### Экспериментальные исследования

Работу предложенного алгоритма проиллюстрируем на паре радиолокационных изображений, представленных на рис. 1. Маска разрывов и переналожений для первого комплексированного РЛИ представлена на рис. 4, а маска затенений – на рис. 5. Градациями серого на рисунках представлены значения  $\mu(L)$  и  $\mu(S)$  в диапазоне от 0 до 1.

Из рис. 4 видно, что все области, сильно размытые на ортотрансформированном РЛИ, оказались под маской, что говорит о высоком ее качестве. В то же время сильное размытие и полученная маска неидеально соответствуют ярким участкам РЛИ. Это связано с недостаточной детальностью опорной трехмерной модели, использованной при ортотрансформировании и построении маски. Из рис. 5 видно, что выделенные участки тени приходится на темные области РЛИ, однако не все темные области РЛИ помечены как тень. Это связано с особенностями отражения в этих областях и с недостаточной детальностью опорной трехмерной модели.

В целом из рисунков видно, что построенные маски отличаются достаточно высоким качеством и не требуют дополнительной морфологической обработки. Неточные

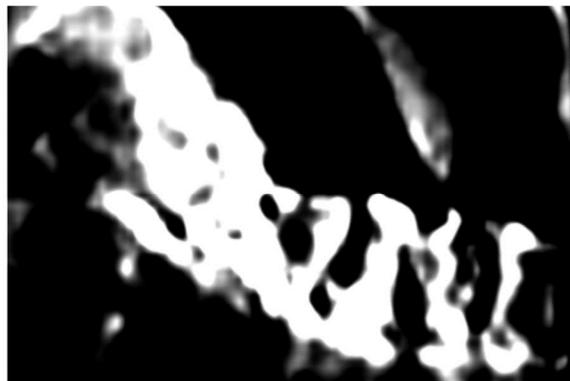
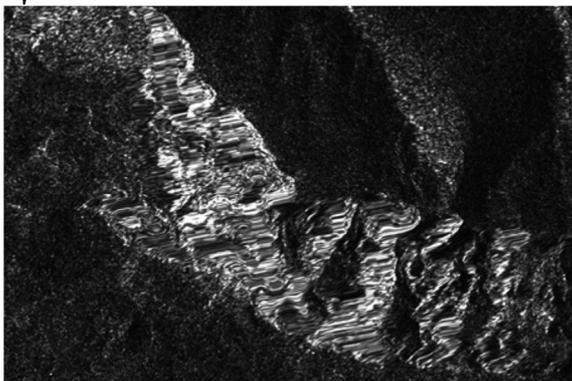


Рис. 4. РЛИ и нечеткая маска разрывов и переналожений на нем

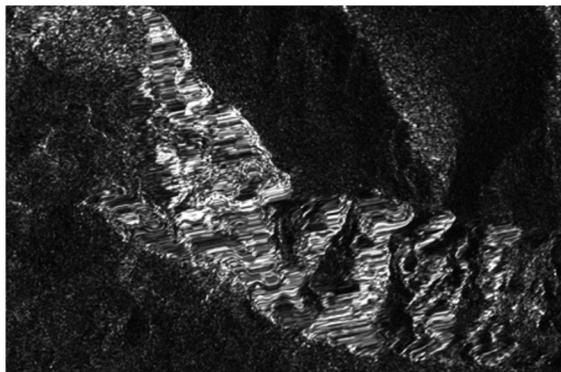


Рис. 5. РЛИ и нечеткая маска затенений на нем

границы масок связаны лишь с низкой детальностью опорной трехмерной модели. А в случае, когда детальность опорного рельефа соответствует пространственному разрешению обрабатываемых изображений, маски разрывов и затенений строятся с высокой точностью.

Результат нечеткого комплексирования с использованием полученных масок приведен на рис. 6, из которого видно, что резкие границы (рис. 2) на стыках фрагментов, заполненных данными из разных РЛИ, превратились в плавные переходы. Более того, плавность перехода обусловлена не произвольным искусственным размытием масок разрывов и теней, а плавностью изменений высот рельефа, поскольку значения  $\mu(L)$  и  $\mu(S)$  определяются, в первую очередь, крутизной склонов рельефа. Поэтому резкие границы высотных объектов останутся резкими и на результате комплексирования, а плавные изменения высоты будут сопровождаться плавным переходом радиояркости от одного РЛИ к другому.

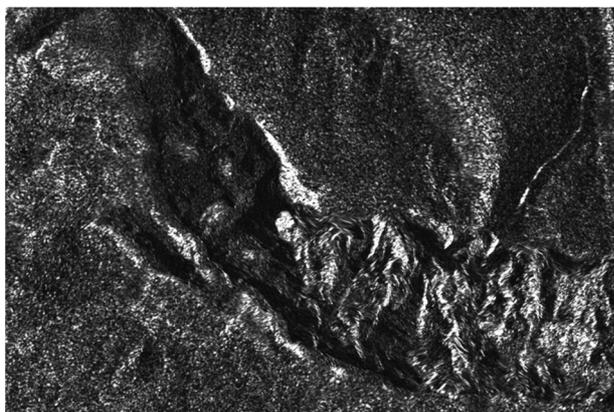


Рис. 6. Плавные переходы на результате комплексирования на основе нечеткой логики

#### Модификации предложенного алгоритма

В случае низкой детальности опорной трехмерной модели положение выявленных разрывов и теней может не строго совпадать с сюжетом РЛИ. Из геометрии радиолокационной съемки следует, что разрывы и переналожения должны быть очень яркими, а в области теней сигнал должен быть на уровне фонового шума. Этим можно воспользоваться для уточнения положения разрывов и теней на основе анализа сигнала РЛИ. Однако следует помнить, что в участках, где выделенные разрывы и тени не согласуются с сюжетом, на комплекслируемых РЛИ наблюдаются значительные геометрические искажения, вызванные неточным ортотрансформированием, из-за которых два РЛИ могут быть неточно совмещены друг с другом.

Для уточнения положения разрывов и теней по сигналу РЛИ необходимо оценить средние яркости пикселей, для которых  $\mu(L)=1$  (средняя яркость разрыва/переналожения) или  $\mu(S)=1$  (средняя яркость тени). Чтобы полученные оценки яркостей были адекватными, опорная трехмерная модель должна быть достаточно точной. Для очень грубого опорного рельефа уточнить положение разрывов и теней, скорее всего, будет невозможно. После получения средних яркостей выполняется анализ яркости пикселей РЛИ в окрестности выделенных областей разрыва и тени. Пикселям, яркость которых близка к средней яркости разрыва/тени, назначается  $\mu(L)$  и  $\mu(S)$ , близкая к единице. Чтобы уменьшить влияние спекл-шума, можно анализировать не яркость отдельного пикселя, а среднюю яркость в его малой окрестности.

Предложенный выше подход к комплексированию на основе нечеткой логики при необходимости можно рас-

пространить и на случай, когда исходные РЛИ смешиваются в отсутствие разрывов и теней, например, как было предложено в [2]. В указанном случае правила комплексирования несколько изменяются, а следовательно, необходимо модифицировать логические выражения, их описывающие:

$$\begin{aligned}
 s_{\text{комп}} = & \mu(\overline{L_1} \wedge (S_2 \wedge \overline{S_1} \vee L_2))s_1 + \\
 & + \mu(\overline{L_2} \wedge (S_1 \wedge \overline{S_2} \vee L_1))s_2 + \\
 & + \mu(L_1 \wedge L_2 \vee S_1 \wedge S_2) \frac{s_1 + s_2}{2} + \\
 & + \mu(\overline{L_1} \wedge \overline{L_2} \wedge \overline{S_1} \wedge \overline{S_2})F(s_1, s_2),
 \end{aligned} \quad (11)$$

где  $F(s_1, s_2) = F(s_2, s_1)$  – некоторая функция, выполняющая смешивание сигналов двух РЛИ.

В постановке (11) результат комплексирования не зависит от того, какое из объединяемых РЛИ выбрано основным, а какое – дополнительным. Выбор конкретной функции  $F(s_1, s_2)$  в настоящей работе не рассматривается. Ее можно реализовать, основываясь на работе [2], а можно – на основе одного из универсальных алгоритмов комплексирования изображений. В любом случае

$F(s_1, s_2)$  уже не учитывает геометрический аспект, а работает исключительно с яркостью пикселей объединяемых изображений.

## Заключение

Предложенный алгоритм позволяет качественно построить маски геометрических искажений и затенений объектов на РЛИ, а затем выполнить их комплексирование с обеспечением плавности перехода между участками, заполненными данными из разных РЛИ. При этом плавность перехода определяется характером изменения высот объектов наблюдаемой сцены.

## Литература

1. Zhang J., Wei J., Huang G., Zhang Y. Fusion of ascending and descending polarimetric SAR data for colour orthophoto generation // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 2010. Vol. 38. Part 7A. Pp. 323-328.

2. Chandrakanth R., Saibaba J., Varadan G., Ananth Raj P. Fusion of ascending and descending pass high resolution SAR data // Journal of Geomatics. 2014. Vol. 8(2). Pp. 164-169.



## 21-я Международная конференция ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

The 21<sup>th</sup> International Conference  
DIGITAL SIGNAL PROCESSING  
AND ITS APPLICATIONS

Москва, ИПУ РАН, март 2019 года

Уважаемые коллеги!

### ПРИГЛАШАЕМ ВАС ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В РАБОТЕ КОНФЕРЕНЦИИ

#### МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

Председатель Международного комитета: академик РАН Гуляев Юрий Васильевич  
Сопредседатели: академик РАН Васильев С.Н., академик РАН Каляев И.А., Кирпичников А.П., академик РАН Сигов, академик РАН Федоров И.Б.

#### Программная группа Международного оргкомитета:

Председатель Программной группы: член-корр. РАН Зубарев Юрий Борисович

Члены Программной группы: проф. Аджемов А.С. (Россия), член-корр. РАН Борисов В.И. (Россия), д.т.н. Борисов Ю.И. (Россия), академик РАН Бугаев А.С. (Россия), проф. Витязев В.В., проф. Лукин В.В. (Украина), проф. Митра М. (США), проф. Петровский А.А. (Белоруссия), проф. Сарамаки Т. (Финляндия), член-корр. РАН Черепенин В.А. (Россия).

Административная группа Международного оргкомитета: проф. Бартенев В.Г., проф. Брюханов Ю.А., проф. Васильев К.К., проф. Дворкович В.П., проф. Дворкович А.В., проф. Джиган В.И., Зубарев Р.В., проф. Пожидаев В.Н., д.т.н. Приоров А.Л., проф. Прохоров Ю.Н., доц. Самсонов Г.А., проф. Санников В.Г., доц. Сергиенко А.Б., проф. Скачко Ю.В., проф. Солонина А.И., проф. Соколов И.А., проф. Сперанский В.С., доц. Стешенко В.Б., проф. Фаворская М.Н., проф. Чобану М.К., проф. Шинаков Ю.С., проф. Ямпурин Н.П.

#### РАБОТА КОНФЕРЕНЦИИ ПЛАНИРУЕТСЯ ПО 9 СЕКЦИЯМ:

- Теория сигналов и систем
- Теория и методы цифровой обработки сигналов
- Обработка сигналов в системах телекоммуникаций
- Обработка сигналов в радиотехнических системах
- Обработка и передача изображений
- Обработка сигналов в биотехнических системах
- Проектирование и техническая реализация систем ЦОС
- Системы «технического зрения», искусственного интеллекта и робототехники
- Нейрокомпьютерная обработка сигналов и изображений

Подробную информацию о работе конференции смотрите на сайте  
РНТО РЭС им. А.С. Попова: [www.rntores.ru](http://www.rntores.ru)

