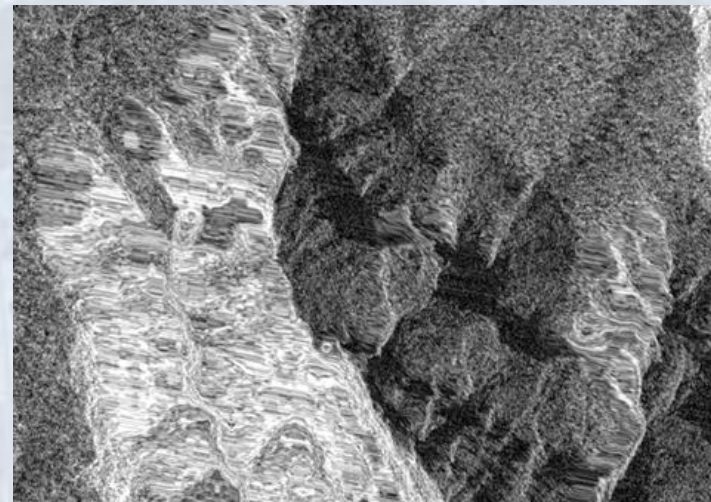


Комплексирование радиолокационных изображений, полученных на восходящем и нисходящем витках орбиты, с использованием нечеткой логики Лукасевича

Ушенкин В.А.,
ведущий научный сотрудник НИИ «Фотон»
Рязанского государственного радиотехнического
университета имени В.Ф. Уткина,
канд. техн. наук

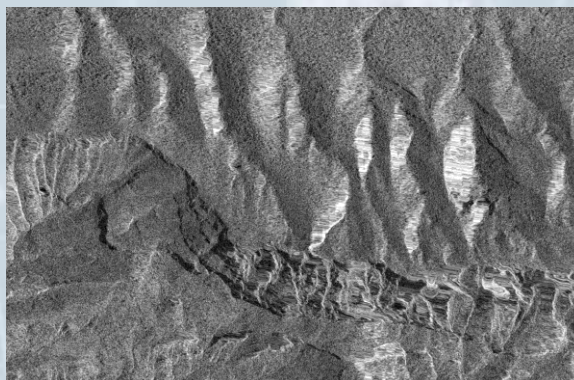
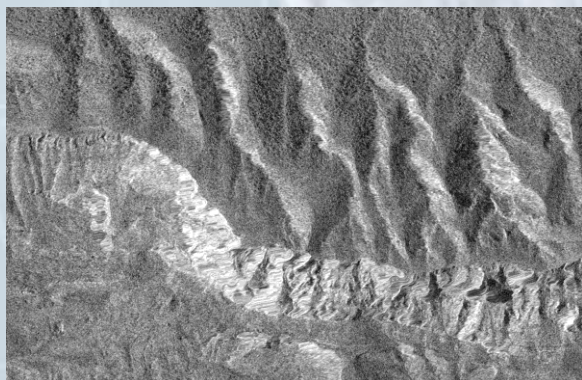
Постановка задачи

На ортотрансформированных радиолокационных изображениях (РЛИ) неизбежно присутствуют дефекты, вызванные перепадами высот наблюдаемых объектов: сверхъяркие и размытые области переналожения сигналов и темные области радиотени



При съемке с разных ракурсов положение дефектов изменяется, за счет чего можно уменьшить их суммарную площадь путем объединения РЛИ одной местности, снятых с восходящего и нисходящего витков орбиты

Для определения положения дефектов при объединении РЛИ требуется высококачественная цифровая модель рельефа (ЦМР). При недостаточно детальности ЦМР «швы» на результате объединения проходят не по границам реальных объектов, порождая ложные границы:



Объединяемые РЛИ с разных витков

Результат объединения

Требуется разработка подхода, позволяющего избежать возникновения ложных границ при комплексировании (объединении) РЛИ с разных витков в случае низкой детальности ЦМР

Построение нечеткой маски областей переналожения сигналов

Оценивается величина $k_{\text{раст}}$ – коэффициент растяжения пикселя радиолокационного изображения в процессе деортотрансформирования (возврата в антенную систему координат с учетом ЦМР)

На основе $k_{\text{раст}}$ оценивается степень истинности нечеткого признака наличия переналожения сигналов:

$$\mu(L_i) = \begin{cases} 1, & k_{\text{раст}} < \theta_{L1}, \\ 1 - \frac{k_{\text{раст}} - \theta_{L1}}{\theta_{L2} - \theta_{L1}}, & \theta_{L1} \leq k_{\text{раст}} \leq \theta_{L2}, \\ 0, & k_{\text{раст}} > \theta_{L2}, \end{cases} \quad \text{где } \theta_{L1} \text{ и } \theta_{L2} \text{ – некоторые пороги,} \\ i \text{ – номер объединяемого изображения}$$

Карта значений $\mu(L_i)$ рассчитывается с шагом, соответствующим детальности ЦМР, а затем приводится к меньшему шагу, соответствующему детальности РЛИ, путем интерполяции:



Карта значений $k_{\text{раст}}$



Интерполированная карта значений $\mu(L_i)$

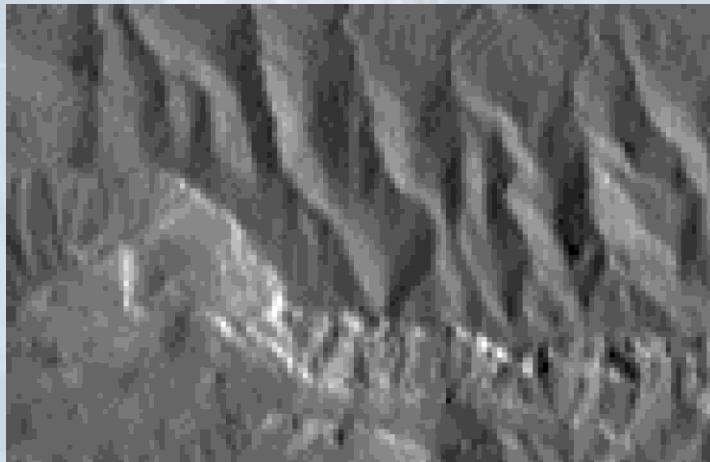
Построение нечеткой маски областей радиотени

Выполняется трассировка лучей с вычислением возвышения Δh_m объектов в текущем пикселе над границей тени от более близких объектов. Шаг трассировки луча по наземной дальности определяется разрешением ЦМР.

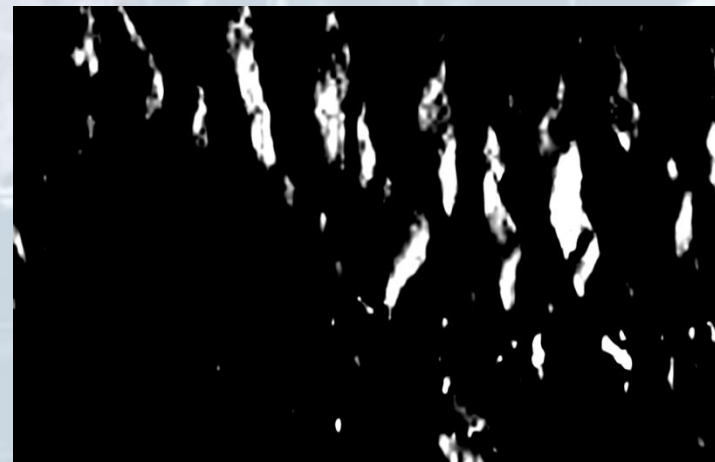
На основе Δh_m оценивается степень истинности нечеткого признака наличия радиотени:

$$\mu(S_i) = \begin{cases} 1, & \Delta h_m < 0, \\ 1 - \frac{\Delta h_m}{\theta_s}, & 0 \leq \Delta h_m \leq \theta_s, \\ 0, & \Delta h_m > \theta_s, \end{cases} \quad \text{где } \theta_s \text{ – некоторый порог}$$

Карта значений $\mu(S_i)$ рассчитывается с шагом, соответствующим детальности ЦМР, а затем приводится к меньшему шагу, соответствующему детальности РЛИ, путем интерполяции:



Карта значений Δh_m



Интерполированная карта значений $\mu(S_i)$

Построение нечетких правил объединения

Сигнал результата объединения определяется взвешенной суммой сигналов объединяемых изображений и результата их слияния, где веса – степени истинности нечетких логических выражений:

$$s_{об}(m_k, n_k) = \mu(A_1) s_1(m_k, n_k) + \mu(A_2) s_2(m_k, n_k) + \mu(A_{12}) F_{слияния}(s_1(m_k, n_k), s_2(m_k, n_k)).$$

Нечеткие логические выражения вычисляются через нечеткие признаки переналожения и затенения:

$$A_1 = \overline{L_1} \wedge (S_2 \wedge \overline{S_1} \vee L_2), \quad A_2 = \overline{L_2} \wedge (S_1 \wedge \overline{S_2} \vee L_1), \\ A_{12} = \overline{A_1 \vee A_2} = (L_1 \vee (\overline{S_2} \vee S_1) \wedge \overline{L_2}) \wedge (L_2 \vee (\overline{S_1} \vee S_2) \wedge \overline{L_1}).$$

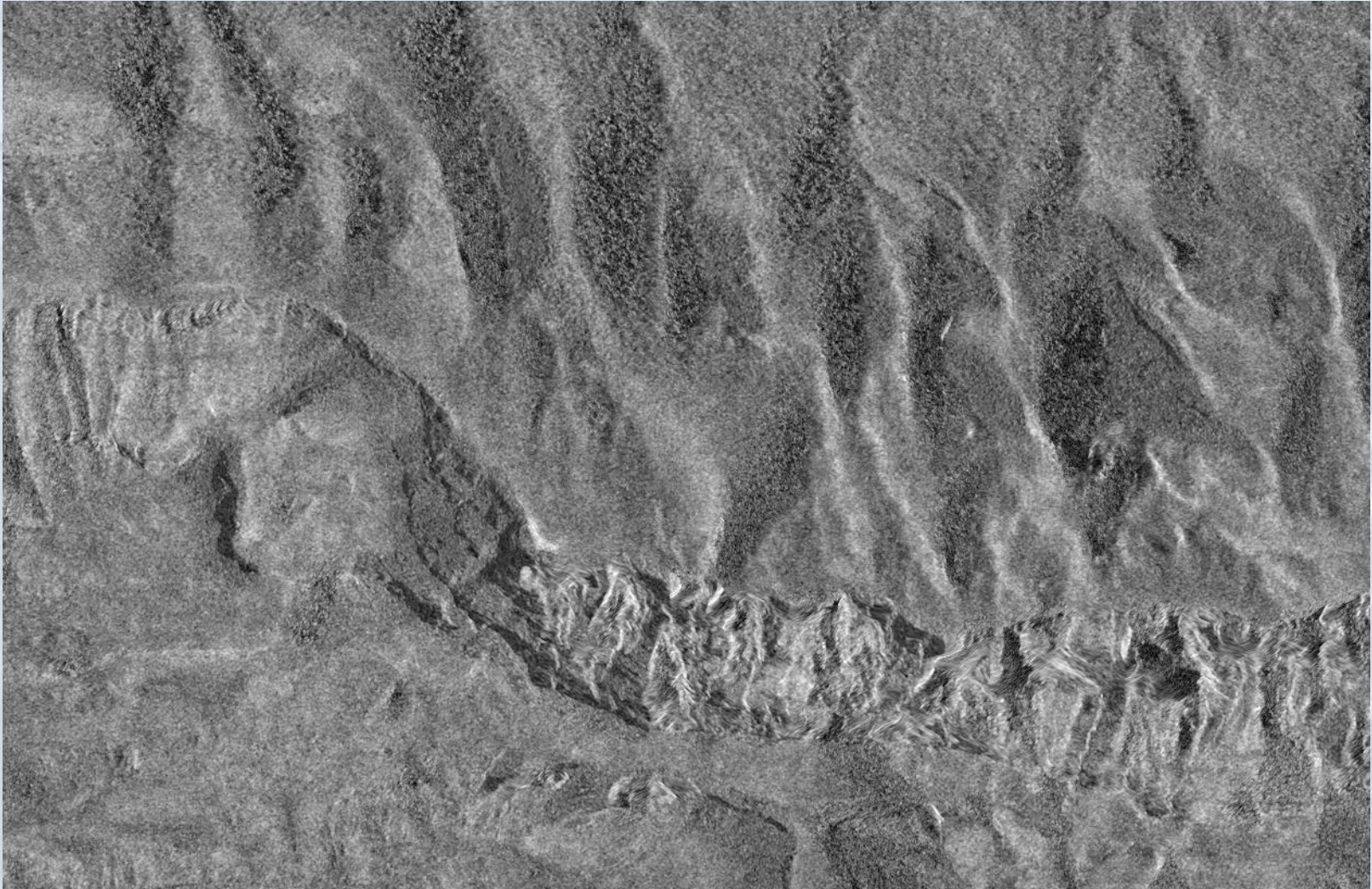
Единичная сумма весов обеспечивается только в том случае, если для вычисления степени истинности нечетких логических выражений применяется нечеткая логика Лукасевича.

Нечеткая логика Гёделя и вероятностная нечеткая логика не обеспечивают единичную сумму весов и не могут быть применены в данной задаче.

В качестве функции слияния сигналов двух изображений применяется мультивременная фильтрация спекл-шума:

$$F_{слияния}(s_1(m_k, n_k), s_2(m_k, n_k)) = \text{НЧ}\{s_1(m_k, n_k)\} + \frac{1}{2} \left(\text{ВЧ}\{s_1(m_k, n_k)\} + \text{ВЧ}\{s_2(m_k, n_k)\} \frac{\text{НЧ}\{s_1(m_k, n_k)\}}{\text{НЧ}\{s_2(m_k, n_k)\}} \right).$$

Пример объединения с использованием нечеткой логики Лукасевича



Вместо резких «швов» наблюдаются плавные переходы от одного изображения к другому, плавность переходов зависит от детальности ЦМР и крутизны наклона рельефа.
В участках, где отсутствуют дефекты на обоих исходных изображениях, снижается уровень спекл-шума



Спасибо за внимание!