

Технология обработки стереоизображений от систем ДЗЗ высокого разрешения

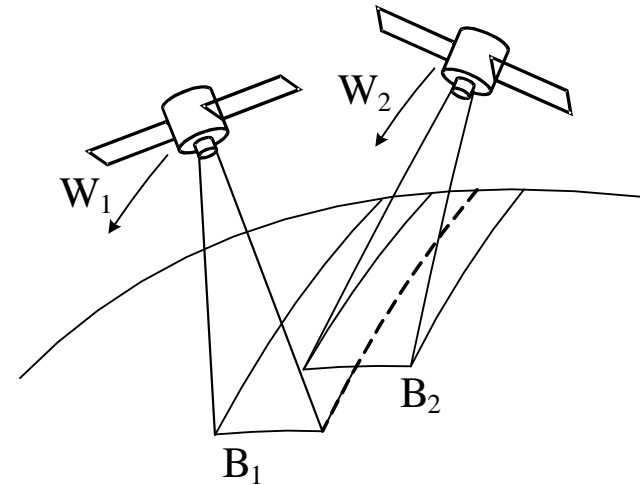
Гомозов О.А., *Кузнецов А.Е., *Побаруев В.И.,
*Пошехонов В.И., Сухов А.А., Третьяков А.А.
НИИ точных приборов, г. Москва

* Рязанский государственный радиотехнический университет

Технология обработки стереоизображений от систем ДЗЗ высокого разрешения

1

Технология позволяет получать цифровые модели рельефа (ЦМР) высокого разрешения по изображениям, сформированным видеодатчиками сканового принципа действия, в общем случае полученным с разных витков и в разное время.



Стереосъемка с разных витков

Технология включает:

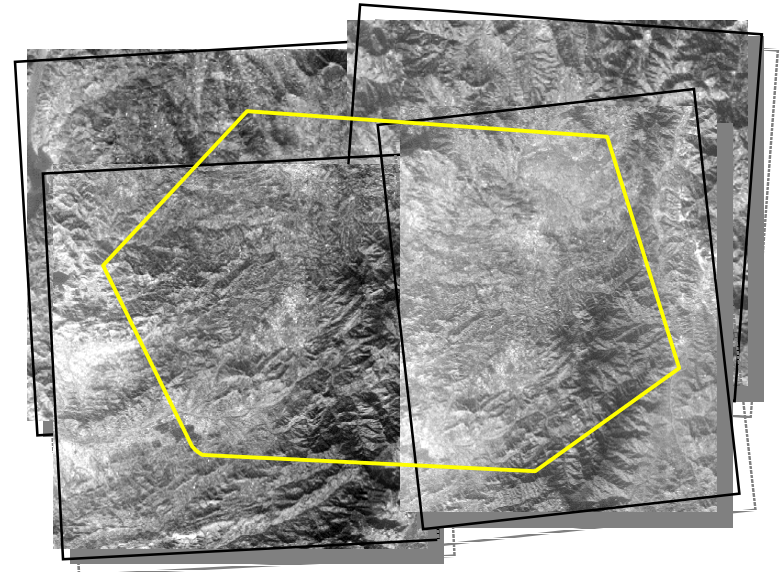
1. создание макета задачи построения ЦМР интересующего региона, ориентирование блока снимков;
2. идентификация облачных образований и водных объектов;
3. обработка пар снимков:
 - создание стереопары,
 - идентификация одноименных точек,
 - формирование триангуляционной модели;
4. формирование выходной ЦМР:
 - расчет высот рельефа в пикетных точках,
 - объединение триангуляционных моделей стереопар,
 - интерполяция высот рельефа в узлах регулярной сетки.

Формирование макета ЦМР

2

Создание проекта построения ЦМР:

- макетирование задачи построения ЦМР посредством оценки возможности стереообработки и полноты покрытия стереопарами интересующего региона,
- проверка наличия картматериалов на заданный регион и возможность его использования для блочного уравнивания,
- запрос к автоматизированному хранилищу на выборку детальных изображений.



Формирование макета ЦМР
в зоне интереса

В ходе блочного уравнивания снимков используются:

- элементы внутреннего ориентирования,
- общие и опорные точки,
- элементы внешнего ориентирования, измеренные бортовой аппаратурой.

В результате выполнения блочного уравнивания снимков уточняются параметры внешнего ориентирования, что позволяет повысить измерительные характеристики будущей ЦМР.

Применяется алгоритм интерактивной сегментации, основанный на использовании клеточного автомата. S_p^t - состояние клетки (пикселя) p в момент времени t . $S_p^t = (l_p^t, \theta_p^t, I_p)$, $l_p^t \in \{0,1\}$, $\theta_p^t \in [0,1]$, I_p - яркость пикселя.

Развитие автомата:

$$\forall \mathbf{q} \in N(\mathbf{p}), g(|I_p - I_q|) \theta_q^t > \theta_p^t : \begin{cases} l_p^{t+1} = l_q^t, \\ \theta_p^{t+1} = g(|I_p - I_q|) \theta_q^t. \end{cases}$$

$$N(\mathbf{p}) = \{ \mathbf{q} : \max_i |p_i - q_i| = 1 \},$$

$$g(x) = 1 - \frac{1}{\max |I_p - I_q|}, \forall \mathbf{p}, \mathbf{q}.$$

Инициализация автомата для идентификации водных объектов:

$$H(\sigma) = \{h_i\}, R(\sigma) = \{r_0 | r_1\},$$

$$r_0 = \left\{ h_i / \max_{j=1,k} h_j \right\}, i = \overline{1, k};$$

$$r_1 = \left\{ h_i / \max_{j=k+1, |H|} h_j \right\}, i = \overline{k+1, |H|},$$

$$l_p^0 = \arg R(\sigma_p) \leq k;$$

$$\theta_p^0 = R(\sigma_p).$$

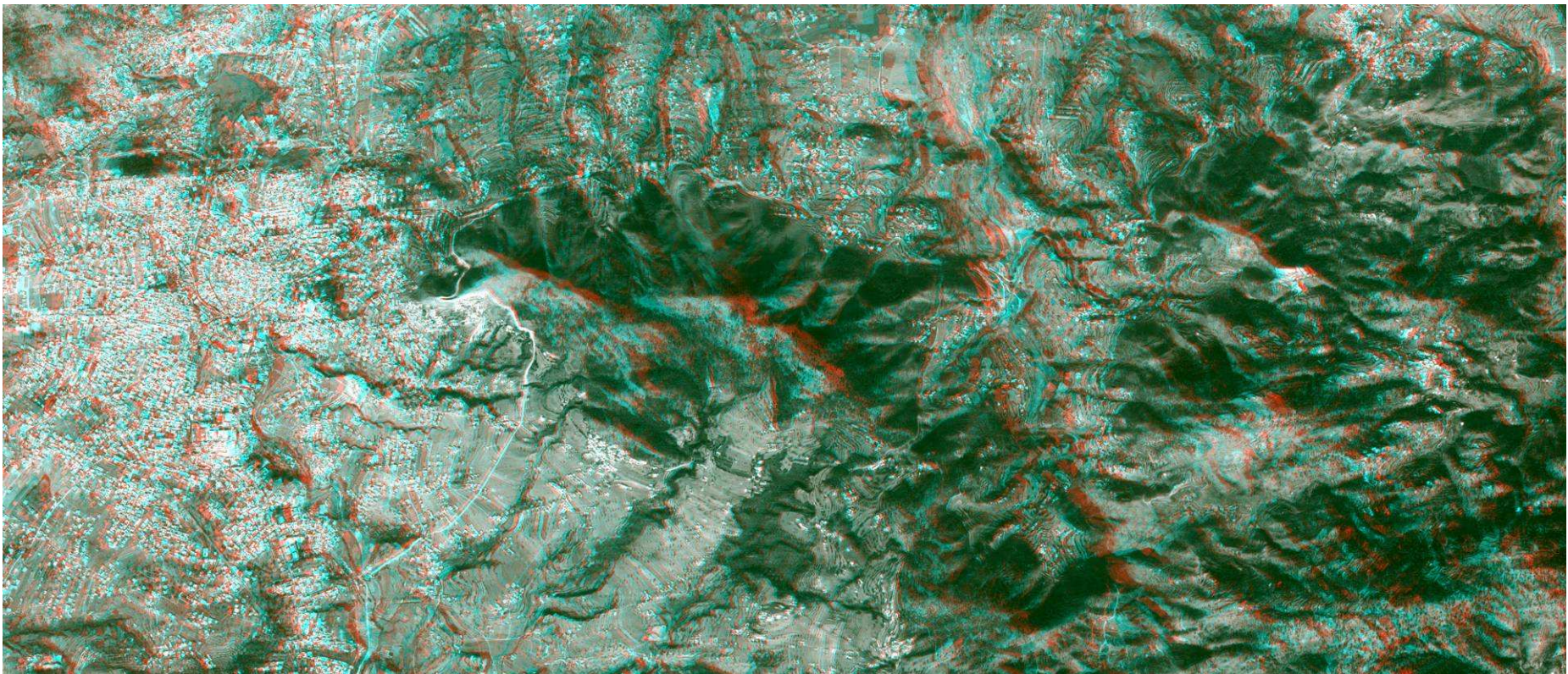


Пример сегментации водных объектов

Создание стереопары

Стереопара формируется посредством геометрического трансформирования одного из исходных изображений в плоскость другого и позволяет:

- ограничить область поиска одноименных точек, изображения стереопары $A(x, y), B(x', y'), x = \overline{1, X}, y = \overline{1, Y}, x' = \overline{1, X'}, y = \overline{1, Y'}$. одноименные точки $(x, y) \leftrightarrow (x', y') : y = y', d_x = x - x' \neq 0$.
- интерактивно обрабатывать изображения в анаглифических стереоочках, стереоизображение: канал красного: $A(x, y)$, канал зеленого, синего: $B(x', y')$.



Анаглифическое стереоизображение

Идентификация одноименных точек

Локальный алгоритм: идентификация отдельных одноименных точек;
ограничения: грубая аппроксимация рельефа, недостаточная надежность.

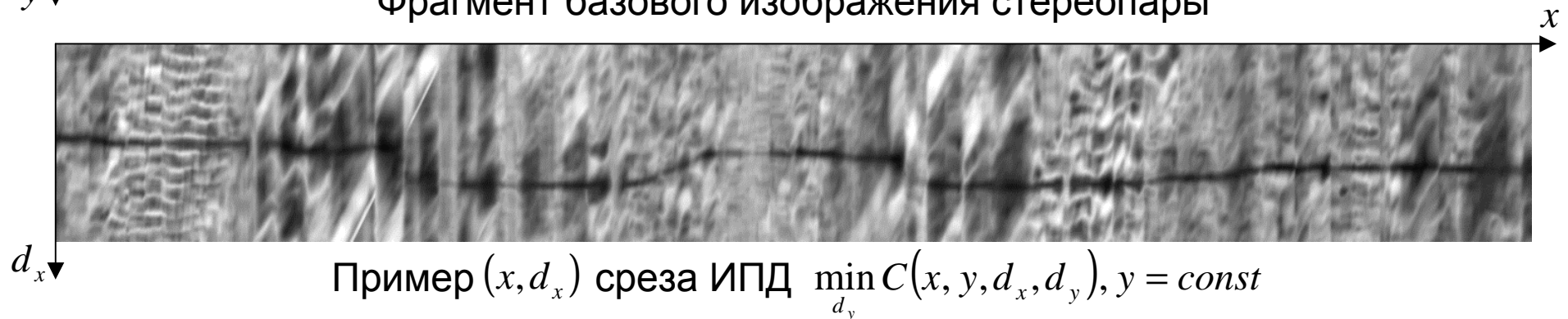
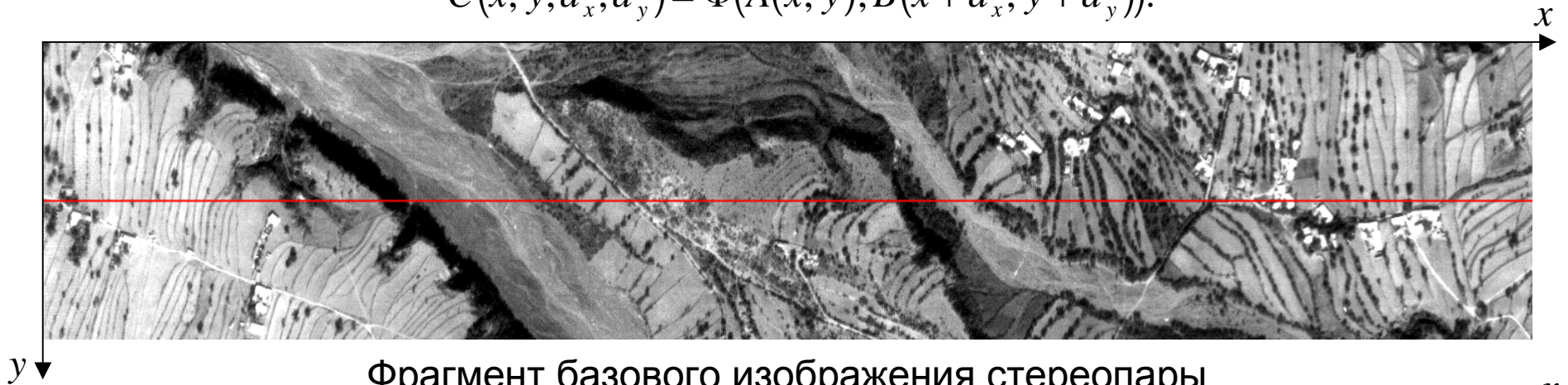
Алгоритм формирования карт диспаратностей $D_x(x, y), D_y(x, y)$, которые задают смещения в одноименных точках для всех пикселей стереопары,

$$D_x(x, y) = x - x', D_y(x, y) = y - y', x = \overline{1, X}, y = \overline{1, Y}.$$

Основные этапы алгоритма:

1. Формирование изображения пространства диспаратности (ИПД) $C(x, y, d_x, d_y)$,

$$C(x, y, d_x, d_y) = \Phi(A(x, y), B(x + d_x, y + d_y)).$$



2. Вычисление диспарантности

Используется глобальный алгоритм оптимизации, который в явном виде учитывает гладкость изменения диспарантности.

Формулируется задача минимизации:

$$(D_x, D_y) = \arg \min_{D_x, D_y} E(D_x, D_y),$$

$$E(D_x, D_y) = E_u(D_x, D_y) + E_z(D_x, D_y),$$

$E_u(D_x, D_y)$ - определяет насколько функции $D_x(x, y), D_y(x, y)$, согласуются с исходными изображениями,

$E_z(D_x, D_y)$ - задает требование кусочной гладкости функций $D_x(x, y), D_y(x, y)$,

$$E_u(D_x, D_y) = \sum_{x,y} C(x, y, D_x(x, y), D_y(x, y)),$$

$$E_z(D_x, D_y) = \sum_{x,y} \rho(D_x(x, y) - D_x(x+1, y), D_y(x, y) - D_y(x+1, y)) + \sum_{x,y} \rho(D_x(x, y) - D_x(x, y+1), D_y(x, y) - D_y(x, y+1)),$$

где $\rho(\Delta_x, \Delta_y)$ – функция штрафов.

Идентификация одноименных точек

Минимизация $E(D_x, D_y)$ с использованием алгоритма полуглобального сопоставления.

Цена для каждого пикселя \mathbf{p} вдоль данного направления $\mathbf{r}_k(r_{kx}, r_{ky})$ определяется рекурсивно:

$$L_k(x_j, y_j, d_x, d_y) = C(x_j, y_j, d_x, d_y) + \min \left\{ \begin{aligned} &L_k(x_{j-1}, y_{j-1}, d_x, d_y), \\ &L_k(x_{j-1}, y_{j-1}, d_x \pm 1, d_y) + P_1, \\ &L_k(x_{j-1}, y_{j-1}, d_x, d_y \pm 1) + P_1', \\ &\min_{i,l} L_k(x_{j-1}, y_{j-1}, i, l) + P_2 \end{aligned} \right\},$$

$$x_j = x_1 + (j-1)r_{kx},$$

$$y_j = y_1 + (j-1)r_{ky},$$

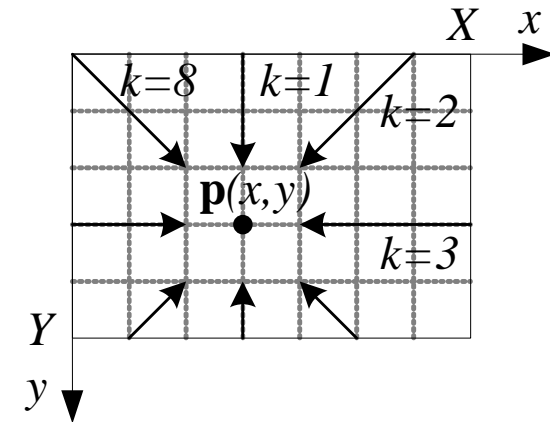
где P_1, P_1', P_2 - штрафы, накладываемые при изменении диспарантности между соседними пикселями.

Получение цены по всем направлениям: $S(x, y, d_x, d_y) = \sum_k L_k(x, y, d_x, d_y)$.

Определение диспарантности: $(D_x(x, y), D_y(x, y)) = \arg \min_{(d_x, d_y)} S(x, y, d_x, d_y)$.

3. Постобработка.

Субпиксельное уточнение диспарантностей, отбраковка ненадежных значений с их последующей интерполяцией.

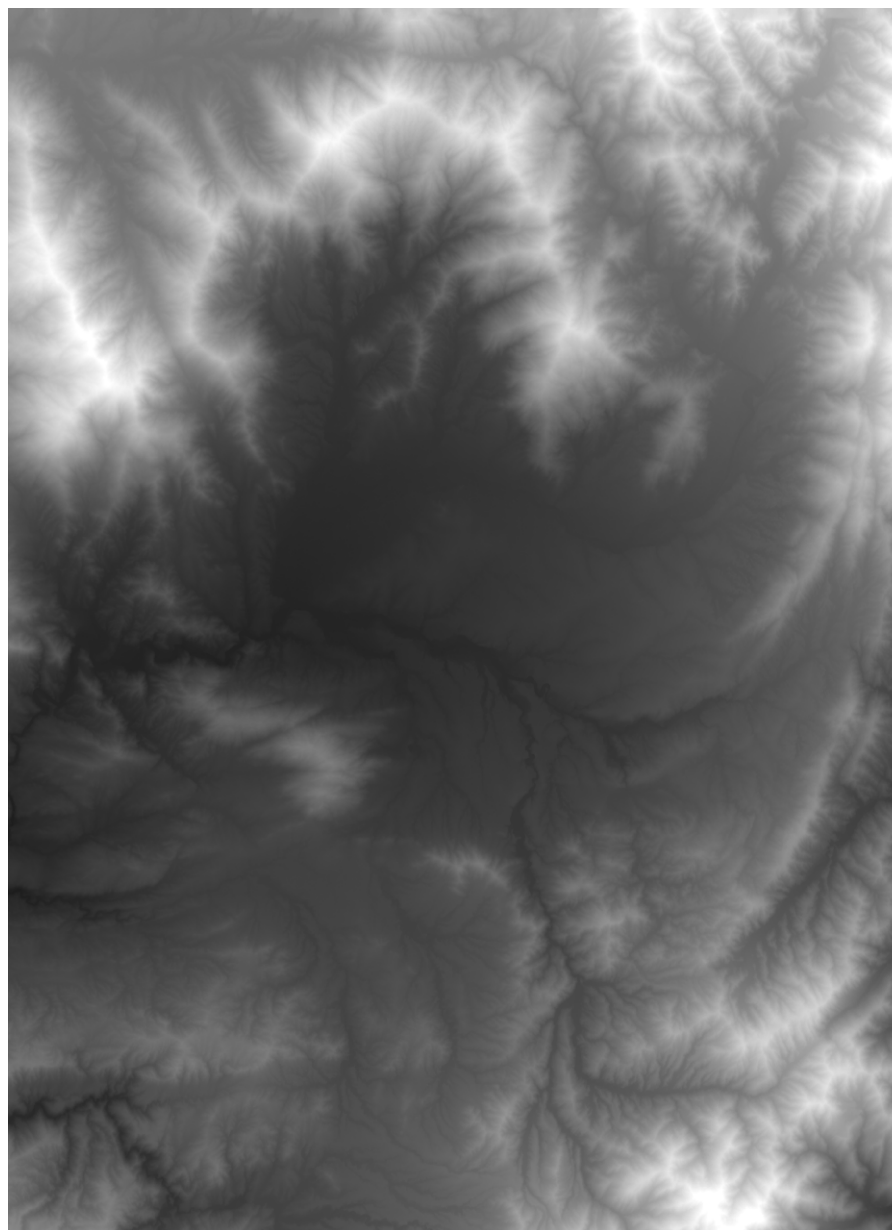


Направления, по которым накапливаются цены сопоставления для точки $\mathbf{p}(x, y)$

Организация вычислительного процесса:

- **пирамидальная обработка**
основана на ограничении области поиска одноименных точек за счет использования решения, полученного на предыдущем уровне пирамиды;
- **параллельные вычисления**
на всех шагах формирования карт диспарантностей, конвейерное распараллеливание операций ввода-вывода;

Данные меры позволили на порядок сократить время формирования карт диспарантностей по сравнению с базовым алгоритмом.



Карта диспарантности $D_x(x, y)$

Формирование триангуляционной модели

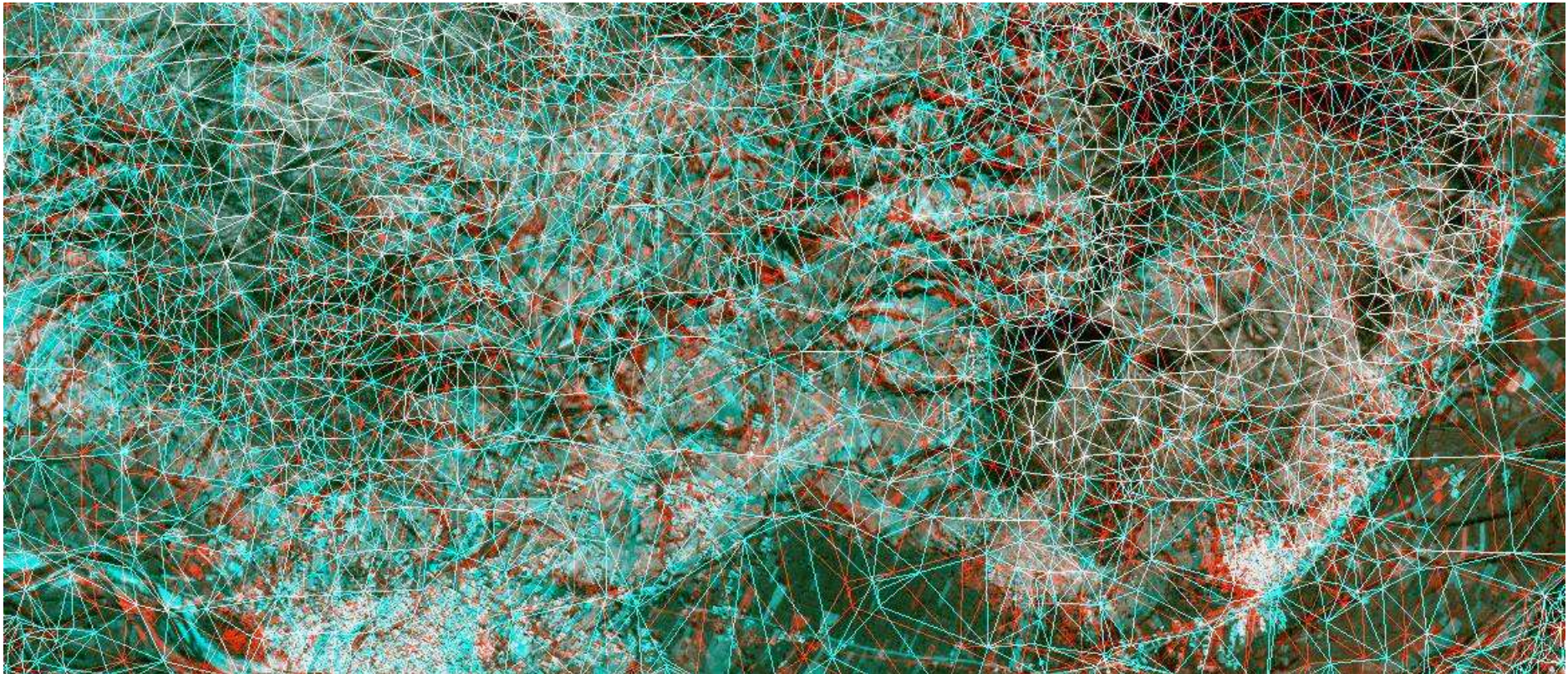
Триангуляционная модель T пикетных точек E формируется по карте диспарантности D_x .

$u_T(\mathbf{p})$ - интерполированное по модели T значение диспарантности в точке \mathbf{p} .

$$\varepsilon_T(\mathbf{p}) = |u_T(\mathbf{p}) - D_x(\mathbf{p})|.$$

Итерационное добавление точек: $E \cup \arg \max_{\mathbf{p} \in t_i} |\varepsilon_T(\mathbf{p})| > \varepsilon_{\max}$, $i = 1, 2, \dots, |T|$.

Сглаживание модели: $\min_{E: T \in F} \sum_{\mathbf{e} \in E} |\varepsilon_T(\mathbf{e})|$.



Стереобразание с наложенной триангуляционной моделью

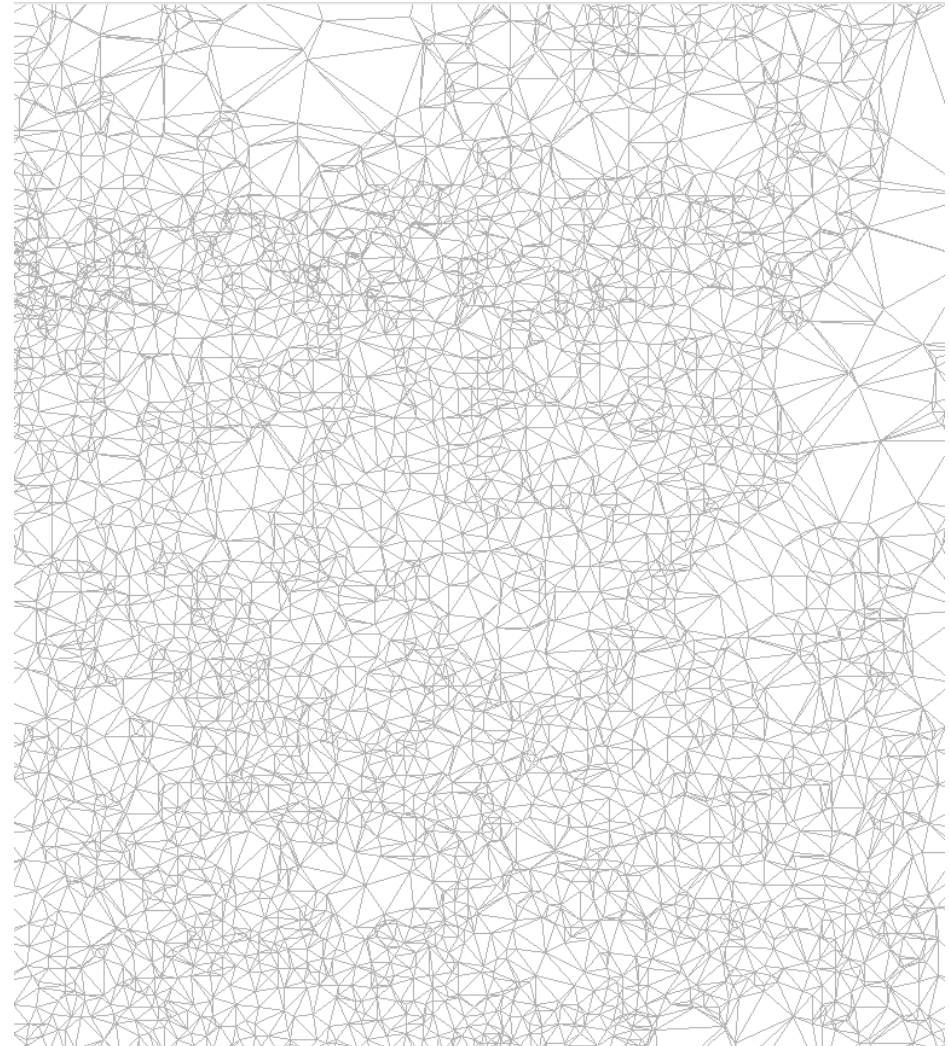
- Расчет высот в пикетных точках по аналитической модели,
 $\{(x, y)_i, (x + d_x, y + d_y)_i\} \rightarrow \{\varphi_i, \lambda_i, z_i\} \rightarrow \{m_i, n_i, z_i\}$.

- Получение общей триангуляционной модели,

$$T_o(E = \{e_i\}), e_i = (m_i, n_i), Z = \{z_i\}.$$

- Интерполяция значений высот рельефа в узлах регулярной сетки заданного масштаба:

- линейная интерполяция по триангуляции Делоне,
- интерполяция с использованием разбиения Вороного.



Общая триангуляционная модель

Апробация технологии
выполнена по изображениям
метрового разрешения КА
Ресурс-ДК, полученным на
разных витках полета спутника.

Временные характеристики

Размер тестовой сцены:
25000x55000 пикселей.

Время обработки:
3 часа.

Вычислительная система:
IBM System x3850
(8 процессоров, 8 ГБ
оперативной памяти).

