

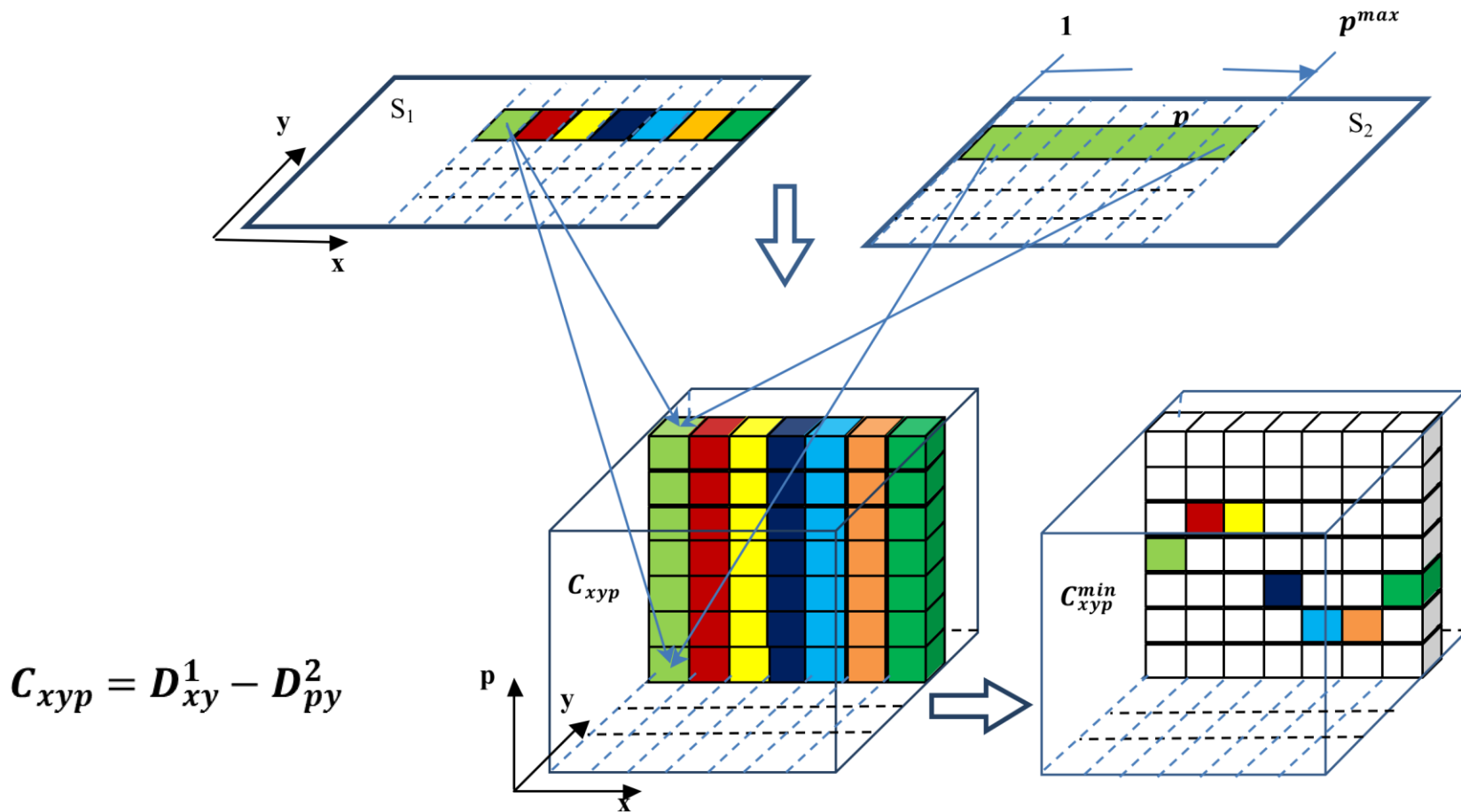
Построение плотного облака точек по множеству снимков методом полуглобального отождествления в пространстве объекта.

Чибуничев А.Г., Макаров С.С.

Московский государственный университет геодезии и
картографии

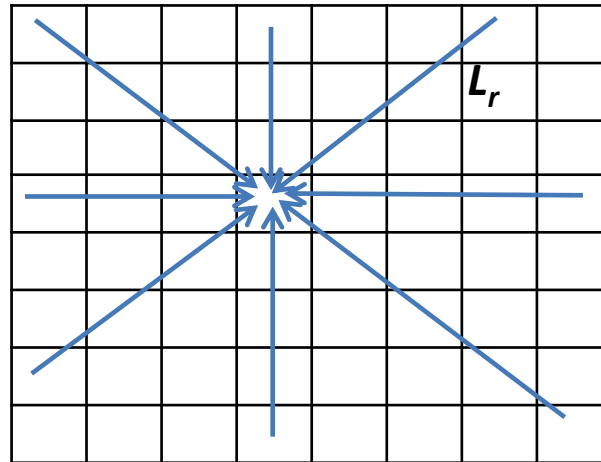
Классический метод полуглобального отождествления

(Semi-global matching (SGM). Hirschmuller H. 2005, 2008)



Классический метод полуглобального отождествления

- $E(p) = \sum \left\{ C_{xyp} + \sum P_1 [|p - p_q| = 1] + \sum P_2 [|p - p_q| > 1] \right\}$



$$\begin{aligned}
 &L_r(x, y, p) \\
 &= C(x, y, p) \\
 &+ \min \left\{ (L_r(x_r, y_r, p), (L_r(x_r, y_r, p - 1) + P_1, (L_r(x_r, y_r, p + 1) \right. \\
 &\left. + P_1, \min_i L_r(x_r, y_r, i) + P_2) \right\} - \min_k L_r(x_r, y_r, k)
 \end{aligned}$$

$$S(x, y, p) = \sum_r L_r(x, y, p)$$

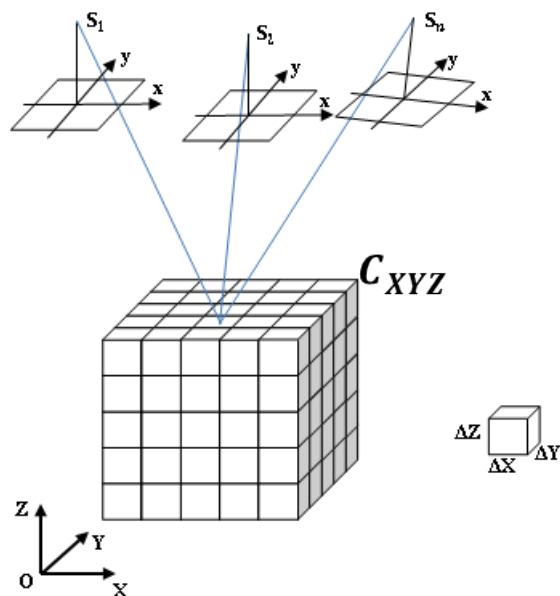
- **Достоинства SGM**
- - Хорошие результаты отождествления даже на слаботекстурированных участках снимков и резких перепадах высот
- Высокое разрешение облака точек
- - Хорошие показатели по скорости обработки

- **Узкие места SGM**
- - трудно осуществить одновременное отождествление соответственных точек по всем снимкам
- - большое количество трансформирований каждого снимка

Полуглобальное отождествление в пространстве объекта

- F. Bethmann, T. Luhmann **Semi-Global Matching in Object Space**
ISPRS Volume XL-3/W2, 2015 PIA15+HRIGI15 – Joint ISPRS conference 2015, 25–27 March 2015, Munich, Germany
- Чибуничев А.Г., Михайлов А.П., Старшов В.В. **Автоматическое построение плотного облака точек по множеству снимков на основе полуглобального метода отождествления соответственных точек.** Изв. Вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2015, Вып 2.

Полуглобальное отождествление в пространстве объекта

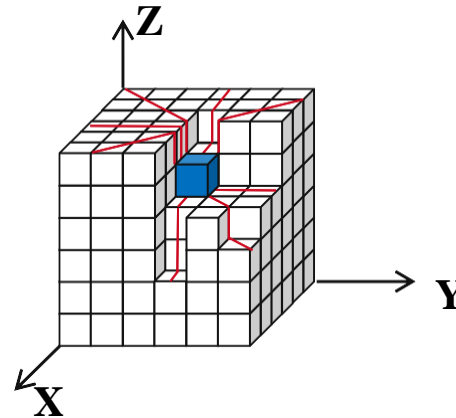


$$C_{XYZ} = D_{xy}^1 - D_{xy}^2$$

$$C_{XYZ} = 1 - \frac{\sum_1^n [D_{xy}^1 - D^1] \cdot [D_{xy}^2 - D^2]}{\sqrt{\sum_1^n [D_{xy}^1 - D^1]^2 \cdot \sum_1^n [D_{xy}^2 - D^2]^2}}$$

Полуглобальное отождествление в пространстве объекта

$$E(Z) = \sum \left\{ C_{XYZ} + \sum P_1 [|Z - Z_q| = 1] + \sum P_2 [|Z - Z_q| > 1] \right\}$$



$$\begin{aligned} L_r(X, Y, Z) &= C(X, Y, Z) \\ &+ \min \left\{ (L_r(X_r, Y_r, Z), (L_r(X_r, Y_r, Z - \Delta Z) \right. \\ &+ P_1, (L_r(X_r, Y_r, Z + \Delta Z) + P_1, \min_i L_r(X_r, Y_r, i\Delta Z) + P_2) \\ &\left. - \min_k L_r(X_r, Y_r, k\Delta Z) \right\} \end{aligned}$$

$$S(X, Y, Z) = \sum_r L_r(X, Y, Z)$$

$$Z(X, Y) = \arg \min_z S(X, Y, Z)$$

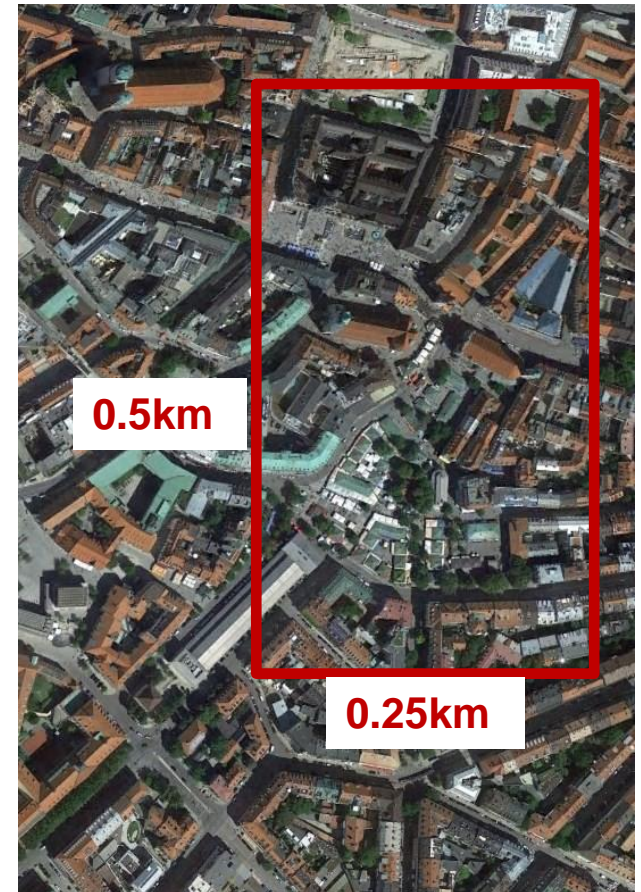
Thomas Luhmann, Folkmar Bethmann & Heidi Hastedt
Dense pointclouds from combined nadir and oblique
imagery by object-based semi-global multi-image
matching. Photogrammetric Week. September 11-15, 2017

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/phowo/2017/presentations.en.html>

Matching of nadir aerial images

Aerial images (EuroSDR benchmark Munich):

- Part of EuroSDR dataset, inner city of Munich
- Set of 15 aerial images, 16 Bit PAN
- Camera: DMC II 230, 15552 x 14144 Pixel, $c=91\text{mm}$
- GSD 10cm
- 80% overlap in flight and cross flight direction
- Urban area, flat topography but high buildings (up to 50m)



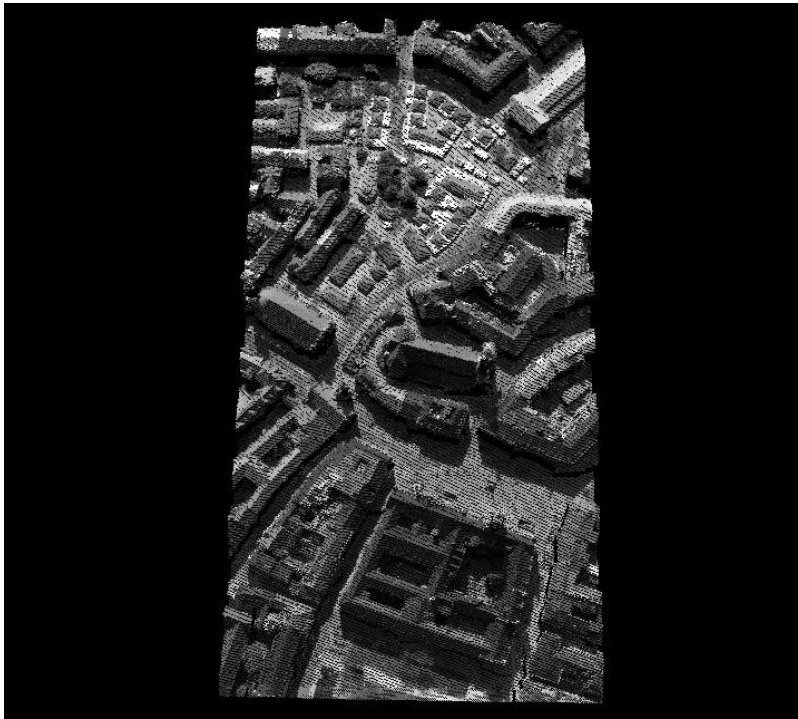
T. Luhmann, F. Bethmann, H. Hastedt

Dense pointclouds from combined nadir and oblique imagery by object-based semi-global multi-image matching

Matching of nadir aerial images

Aerial images (EuroSDR benchmark Munich):

- Resolution in object space $\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 10\text{cm}$ (adapted to GSD)



Unfiltered point cloud (12 million points)



TIN derived from unfiltered point cloud

T. Luhmann, F. Bethmann, H. Hastedt

Dense pointclouds from combined nadir and oblique imagery by object-based semi-global multi-image matching

Matching of nadir aerial images

Aerial images (EuroSDR benchmark Munich):

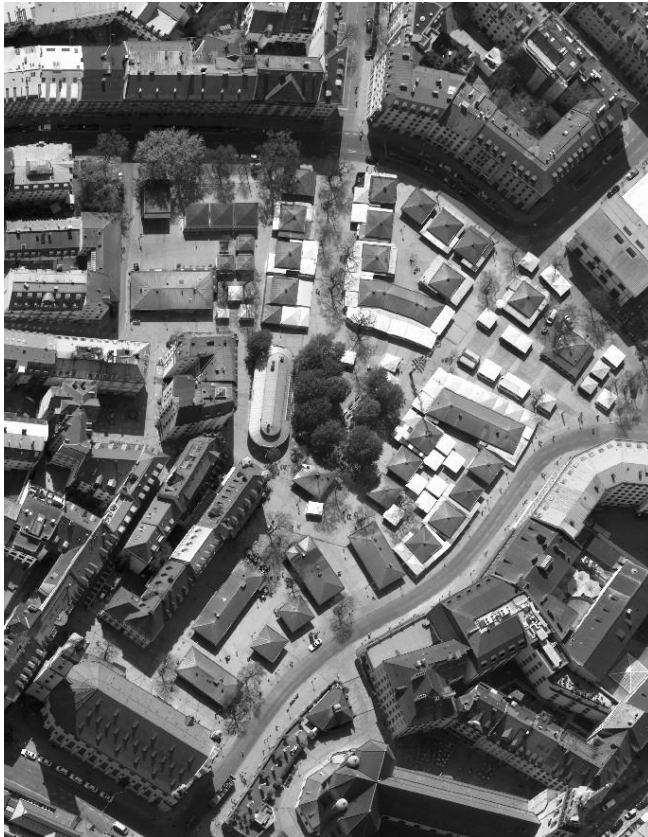


Image section



TIN derived from unfiltered point cloud

T. Luhmann, F. Bethmann, H. Hastedt

Dense pointclouds from combined nadir and oblique imagery by object-based semi-global multi-image matching

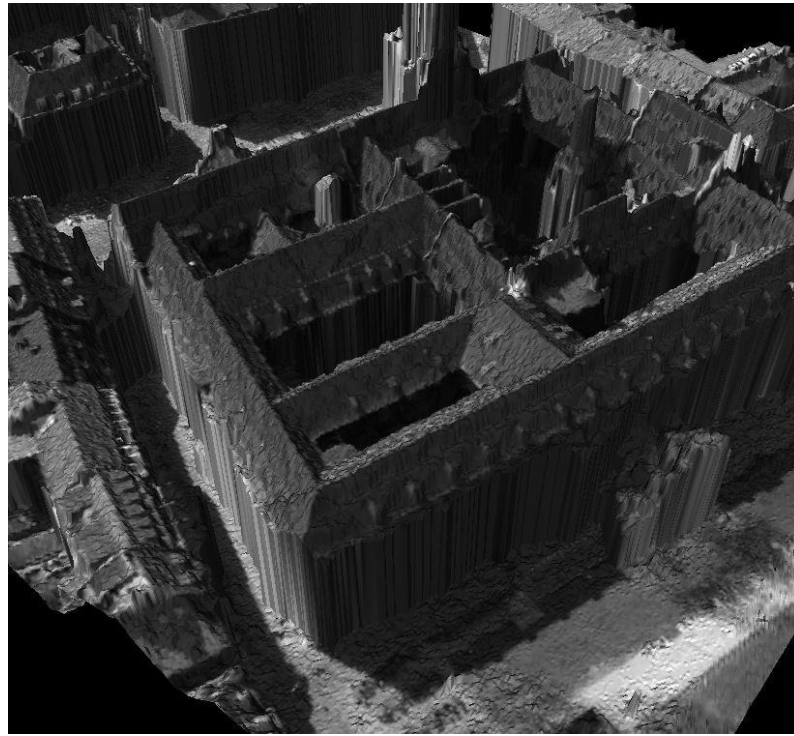
Matching of nadir aerial images

Aerial images (EuroSDR benchmark Munich):

- Resolution in object space $\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 10\text{cm}$ (adapted to GSD)



Image section



TIN derived from unfiltered point cloud

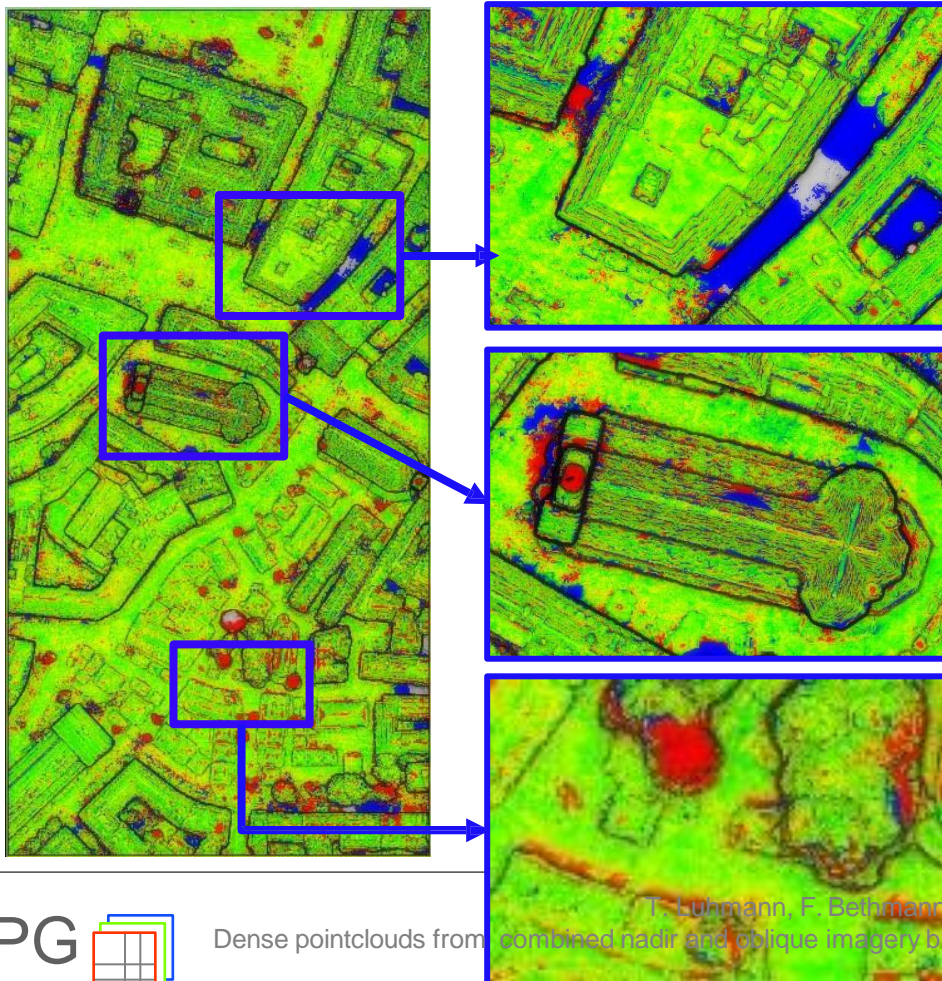
T. Luhmann, F. Bethmann, H. Hastedt

Dense pointclouds from combined nadir and oblique imagery by object-based semi-global multi-image matching

Matching of nadir aerial images

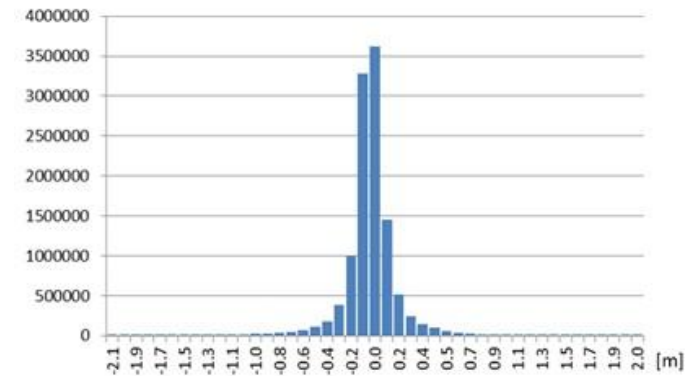
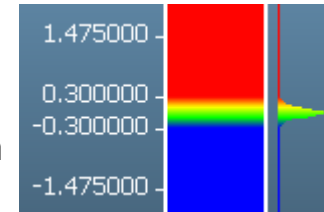
Aerial images (EuroSDR benchmark Munich):

- Comparison to median DSM of the benchmark:



Red : deviations < 0.3m

Blue : deviations > -0.3m



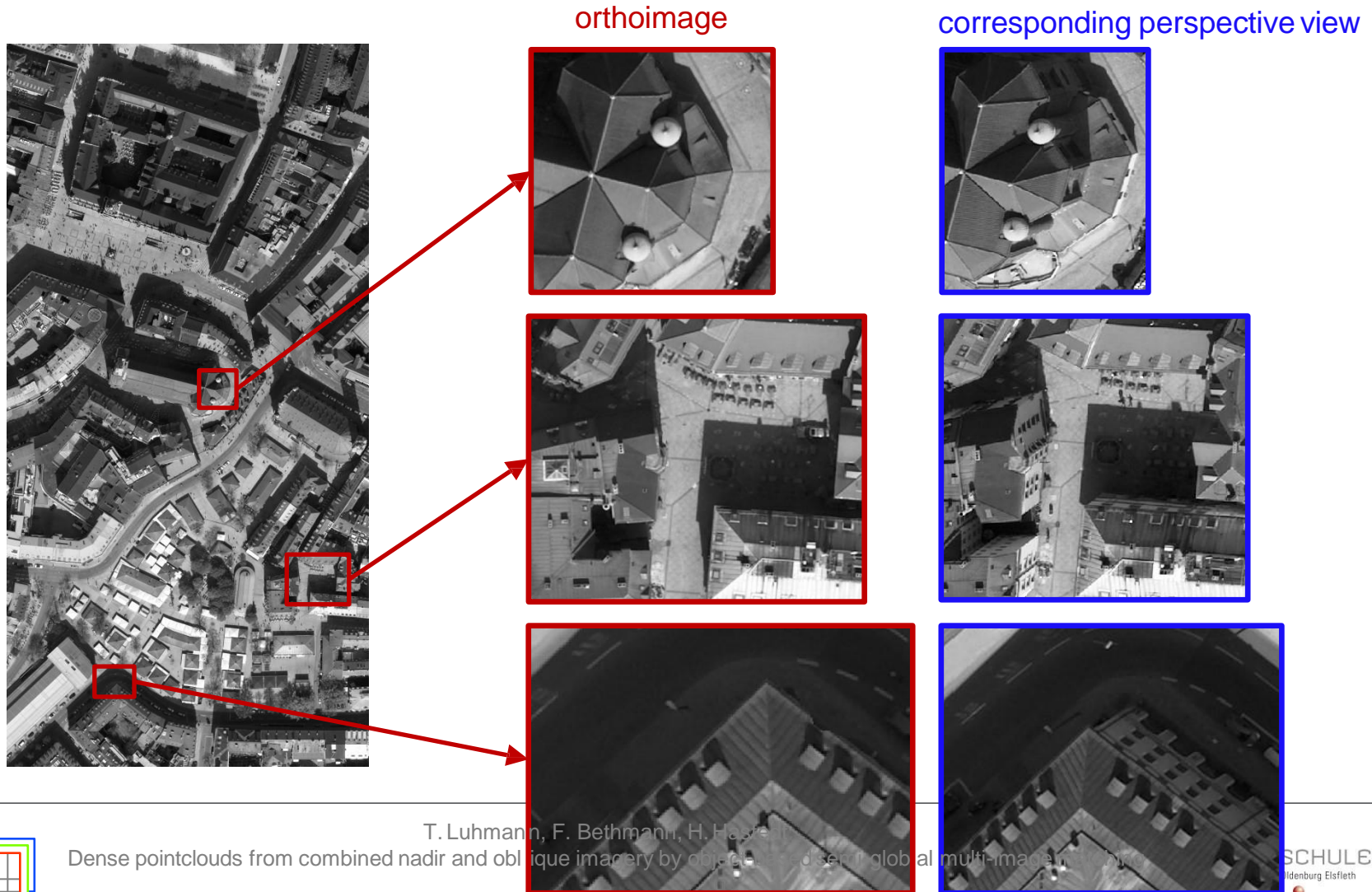
Range	Number Points	Percentage
all	11790368	100
-0.1 to 0.1	9864876	75
-0.2 bis 0.2	9864876	84
-0.4 to 0.4	10829079	92

T. Luhmann, F. Bethmann, H. Hastedt

Dense pointclouds from combined nadir and oblique imagery by object-based semi-global multi-image matching

Matching of nadir aerial images

Aerial images (EuroSDR benchmark Munich): True orthoimage, based on DSM from matching



T. Luhmann, F. Bethmann, H. Hasler

Dense pointclouds from combined nadir and oblique imagery by object-based semi-global multi-image matching

SCHULE
Hildenburg Eilsfleth



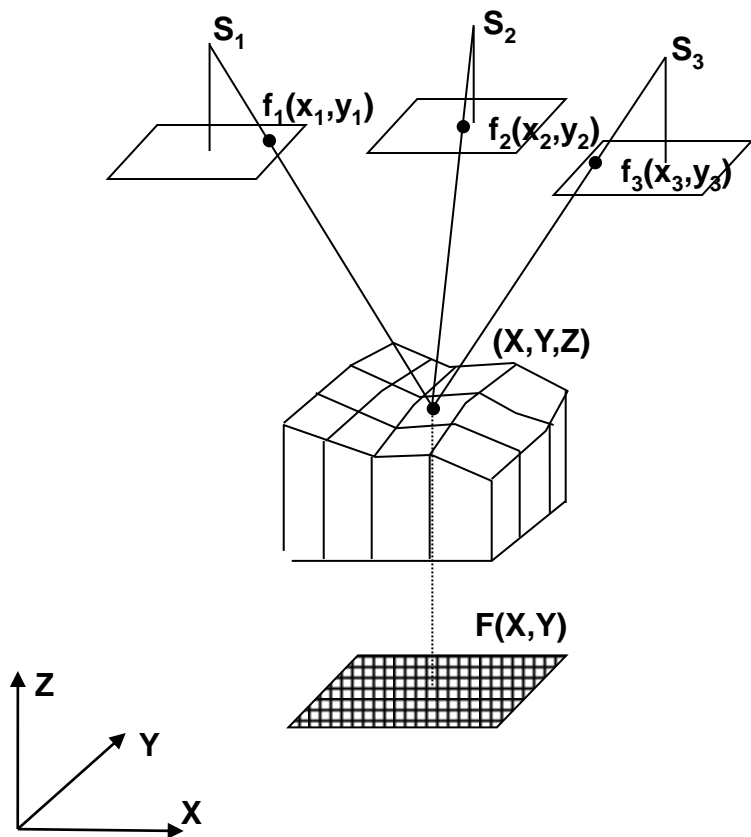
Преимущества предлагаемого подхода:

- Все преимущества метода SGM сохраняются (территории с одинаковой яркостью пикселей, края объектов и т.д.)
- Нет необходимости выполнять трансформирование исходных снимков и объединять затем облака точек, построенные по отдельным стереопарам
- Вместо последовательного отождествления по парам снимков может быть применено одновременное отождествление по всем снимкам
- Истинное ортофото получается сразу одновременно с облаком точек (2.5D)
- Первые результаты, полученные проф. Луманом по разным исходным снимкам показывают эффективность данного метода

Перспективы:

- Использование существующих 3D моделей объектов в процессе отождествления соответствующих точек по множеству снимков
- Применение переменной величины размеров вокселей в пространстве объекта (воксельная пирамида)
- Применение метода наименьших квадратов для отождествления соответственных точек по множеству снимков (Grun 1985) с целью повышения точности построения облака точек

Отождествление соответственных точек по методу наименьших квадратов в пространстве объекта



$$F(X, Y) - k_i f_i(x_i, y_i) = 0$$

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_0 - f \frac{a_{11}(X - X_{Si}) + a_{21}(Y - Y_{Si}) + a_{31}(Z - Z_{Si})}{a_{13}(X - X_{Si}) + a_{23}(Y - Y_{Si}) + a_{33}(Z - Z_{Si})} \\ y_i &= y_0 - f \frac{a_{12}(X - X_{Si}) + a_{22}(Y - Y_{Si}) + a_{32}(Z - Z_{Si})}{a_{13}(X - X_{Si}) + a_{23}(Y - Y_{Si}) + a_{33}(Z - Z_{Si})} \end{aligned} \right\}$$

$$a_1 \delta F + a_2 \delta Z + a_3 \delta k_i + l = v$$

Большое спасибо !