



Доклад на тему: Обработка больших данных при обнаружении области коррекции траектории беспилотного летательного аппарата по рельефу земной поверхности

1



**Крюкова Камила Владимировна
Лютин Владимир Иванович**



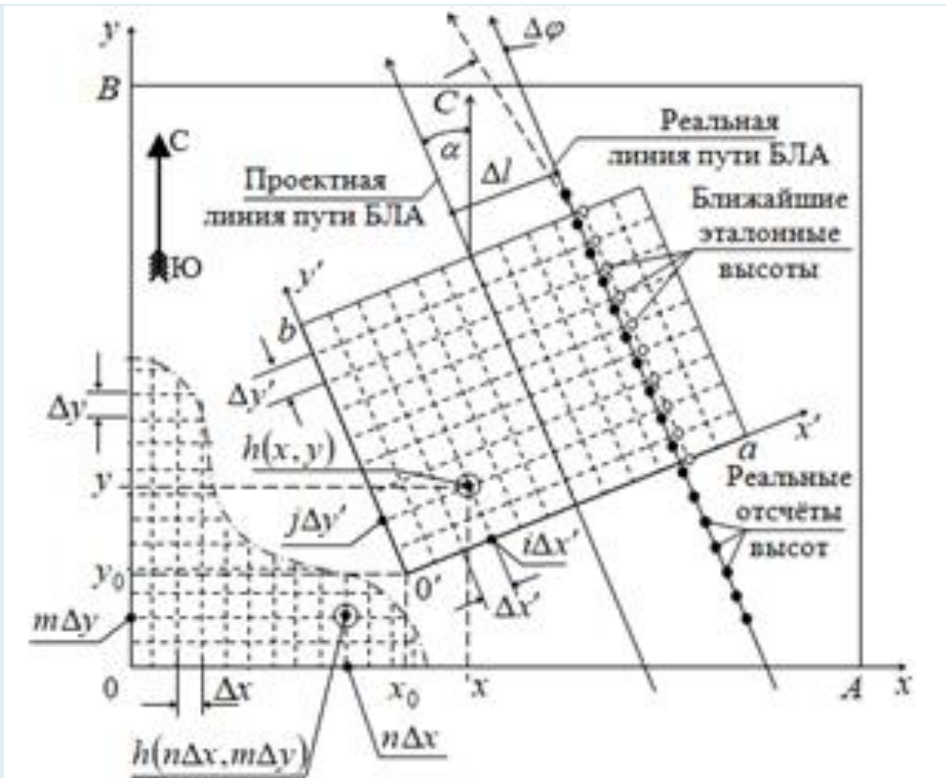
Актуальность работы

Необходимость повышения точности вывода беспилотных летательных аппаратов (БЛА) при доставке грузов в труднодоступных и малонаселённых местностях Арктики требует принятия решений о корректировке траектории по рельефу земной поверхности.

Цель исследований – синтез алгоритма обнаружения области коррекции траектории движения беспилотного летательного аппарата и оценка точности обнаружения по результатам анализа рельефа земной поверхности под линией пути.

Объект исследований – автоматическая система анализа потоковых данных при сравнении результатов наблюдения поверхности с известными картографическими данными.

Предмет исследований – оценка возможностей технической реализации и оценка качества обнаружения области коррекции траектории беспилотного летательного аппарата по результатам анализа рельефа земной поверхности.



$$h(x, y) \approx \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^M h(n\Delta x, m\Delta y) \frac{\sin \left[\frac{\pi}{\Delta x} (x - n\Delta x) \right]}{\omega_x (x - n\Delta x)} \cdot \frac{\sin \left[\frac{\pi}{\Delta y} (y - m\Delta y) \right]}{\omega_y (y - m\Delta y)}$$

Аффинные преобразования

$$x = x_0 + i \cdot \Delta x' \cdot \cos \varphi + j \cdot \Delta y' \cdot \sin \varphi$$

$$y = y_0 - i \cdot \Delta x' \cdot \sin \varphi + j \cdot \Delta y' \cdot \cos \varphi$$



Наблюдаемая последовательность высот без ошибок измерения

$$h_i(t) = \sum_{j=0}^J h_{ij} \cdot \text{rect} \left[-\theta_0 + j \cdot T_0 - \tau_0, t - \tau_0 - \tau_0 \right]$$

Учёт ошибок измерения высот:

$$z(t) = \begin{cases} h_i(t) + n_j, & \text{по гипотезе } H_i, \\ h_Z(t) + n_j, & \text{по гипотезе } H_Z, \end{cases} \quad t \in [t_0; t_0 + T_H]$$

Условное распределение:

$$w(z|H_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2 T_0} \int_{t_0}^{t_0 + T_H} z(t) h_i(t) dt \right\}, \quad i = \overline{0, I}$$

Для каждого k-го измерения высоты по J последним измерениям вычисляются отношения правдоподобия для всех I гипотез

$$t_k = k \cdot T_0 \quad \Lambda_k(z_i) = \frac{w(z|H_i)}{w(z|H_Z)} \exp \left\{ \Pi_{ik} \right\} \quad \Pi_{ik} = z_k / \sigma^2 T_0$$

Корреляционный интеграл:

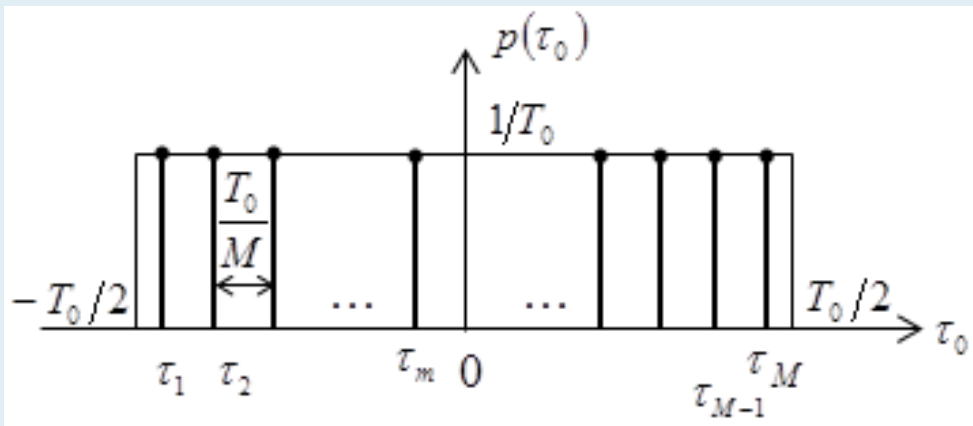
$$Z_k = \sum_{i=1}^I h_{ij} \cdot \int_{kT_0 + \tau_0}^{kT_0 + iT_0 + \tau_0} z(t) dt$$

Критерий принятия решений – максимум отношения правдоподобия

$$\Lambda_k = \max_k \Lambda_k(z) \quad \theta_0 = kT_0, \quad k = \arg \max_k \Lambda_k(z)$$



Равномерное распределение задержки $p(\tau_0) \cong 1/T_0, \tau_0 \in [-T_0/2, T_0/2]$



Аппроксимация распределения

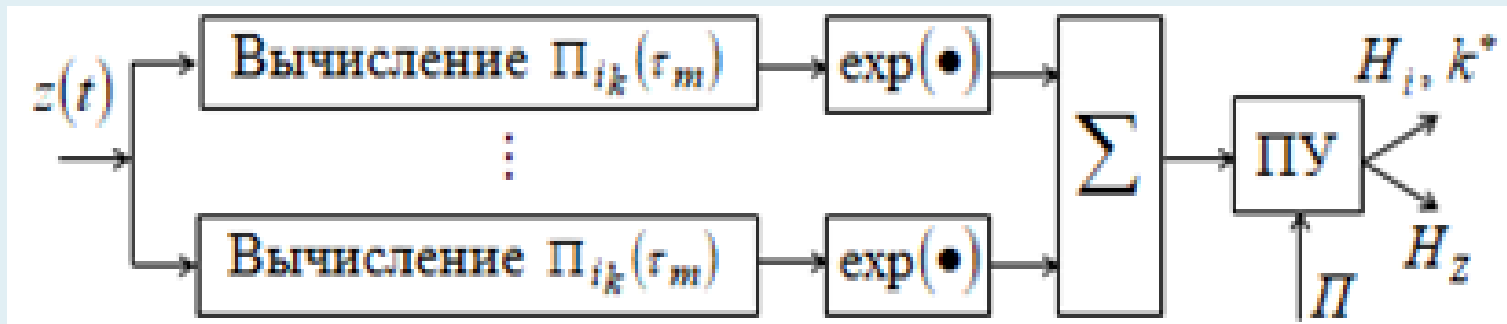
$$\tilde{p}(\tau_0) \cong \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \delta(\tau_0 - \tau_m)$$

$$\tau_m = T_0 \cdot \left(\frac{m-1}{M-1} \right) \quad m=1, \dots, M$$

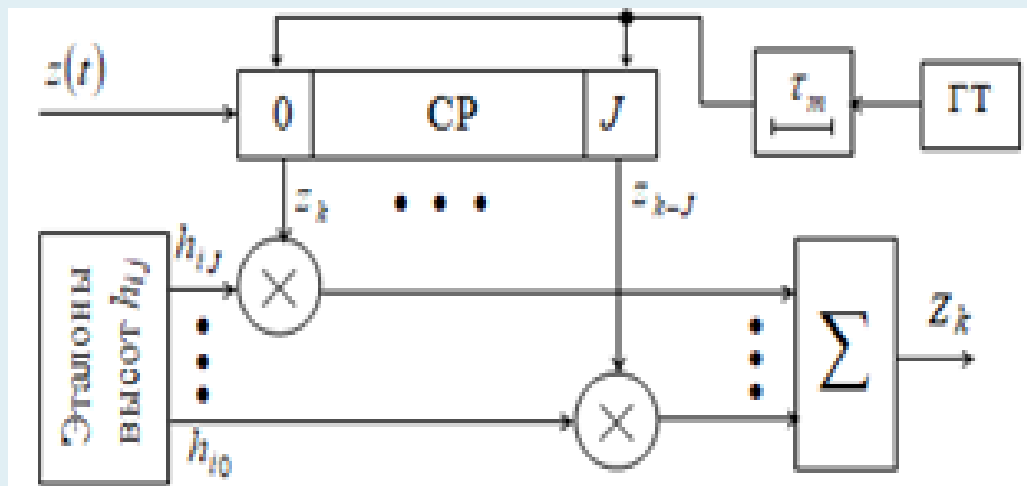
Усреднённое отношение правдоподобия

$$\tilde{\Lambda}_{i_k} \cong \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \exp \left(\frac{\tau_m}{T_0} \right)$$

Квазиоптимальный обнаружитель



Устройство определения корреляционного интеграла





Вероятность правильного обнаружения области коррекции

$$D = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{y_0}^{\infty} \exp\left\{-\frac{y^2}{2}\right\} dy$$

$$y_0 = u_0 - R\sqrt{q} - \eta$$

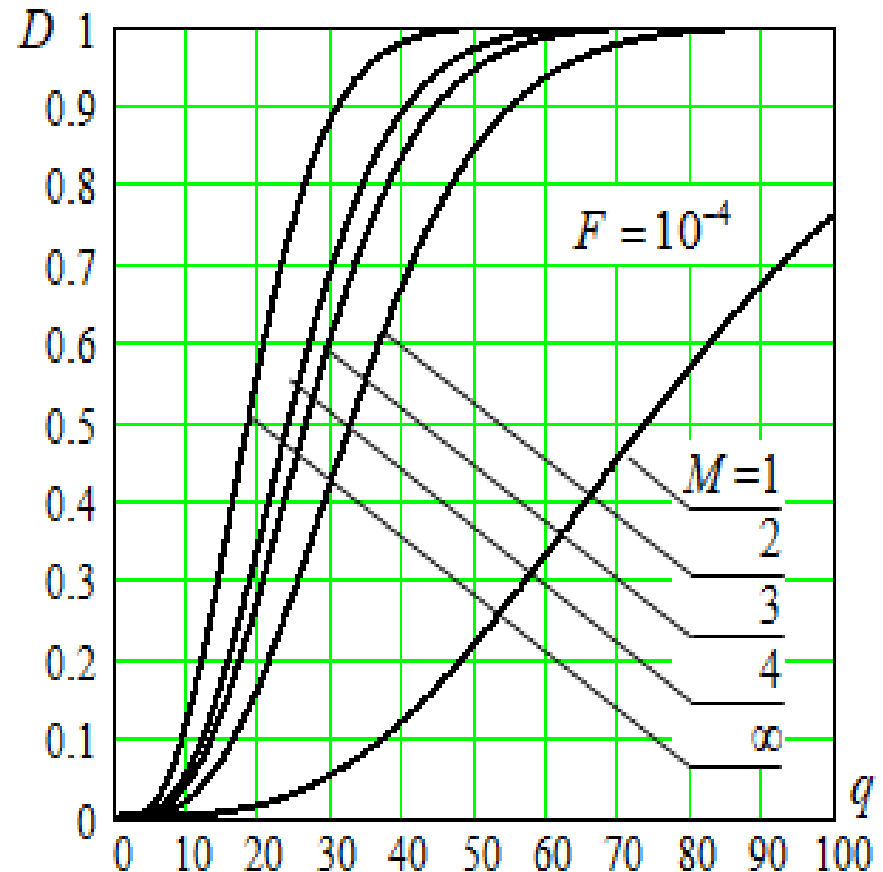
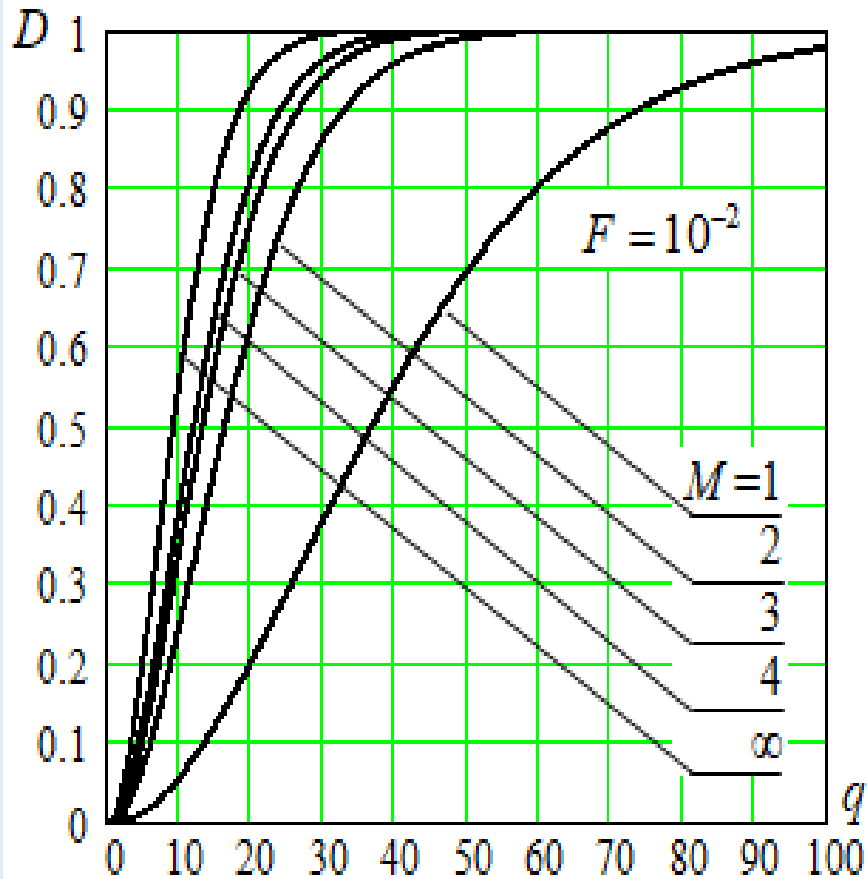
$$u_0 = \sqrt{-2 \ln F}$$

$$\eta = \frac{1}{2R\sqrt{q}} - \frac{u_0 + R\sqrt{q}}{2R\sqrt{q}}$$

Параметр обнаружения области коррекции

$$q = \frac{1}{2 \cdot \sigma^2} \sum_{k=0}^K h_k^2$$

Характеристики обнаружения





$P(H_i | \vec{Z}) = \frac{w(H_i)}{\sum_{r=0}^I w(H_r)}$ – апостериорные вероятности гипотез о положении линии пути БЛА над областью коррекции

$\xi_j = \sum_{k=0}^K (s_k - h_{jk})^2$ $j = \overline{0, I}$ – достаточная статистика

$H_i : i = \min_j \left\{ \sum_{k=0}^K (s_k - h_{jk})^2 \right\}$ $j = \overline{0, I}$ – выбор гипотезы о положении линии пути БЛА

Среднее значение отклонения линии пути БЛА

$$\Delta l = \sum_{i=0}^I P(H_i | \vec{S}) l_i, \quad l_i = i \cdot \Delta x' - a/2$$

Дисперсия ошибки определения положения линии пути БЛА

$$\sigma_{\Delta l}^2 = \sum_{i=0}^I P(H_i | \vec{S}) (l_i - \Delta l)^2$$

Угол поворота линии пути БЛА в сторону точки встречи с целью на удалении L от области коррекции

$$\Delta \varphi = \arctan (l/L)$$



1. Разработан алгоритм преобразований геофизических данных для определения отсчётов высот области коррекции являются эталонными, с ними сравниваются отсчёты высот, измеряемых БЛА при полёте над областью коррекции.

2. В условиях точно неизвестной высоты прохода БЛА над областью коррекции предложено использовать средние значения измеренных и эталонных высот как удаление от «половинного» измерения, что исключает неопределённость реальной высоты пролёта БЛА, означающее исключение постоянной составляющей.

3. С применением вероятностно-статистического метода синтезирована структурная схема многоканального устройства обнаружения эталонных последовательностей высот области коррекции траектории БЛА, работающая по принципу «скользящего окна».

4. Получены аналитические соотношения для анализа качества обнаружения, которые учитывают автокорреляционные свойства последовательностей, и рассчитаны характеристики обнаружения, с помощью которых определяется достаточное число каналов обнаружителя для обеспечения требуемого качества обнаружения при заданных условиях наблюдения.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ