

СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Лабунец В.Г.



Екатеринбург - 2020

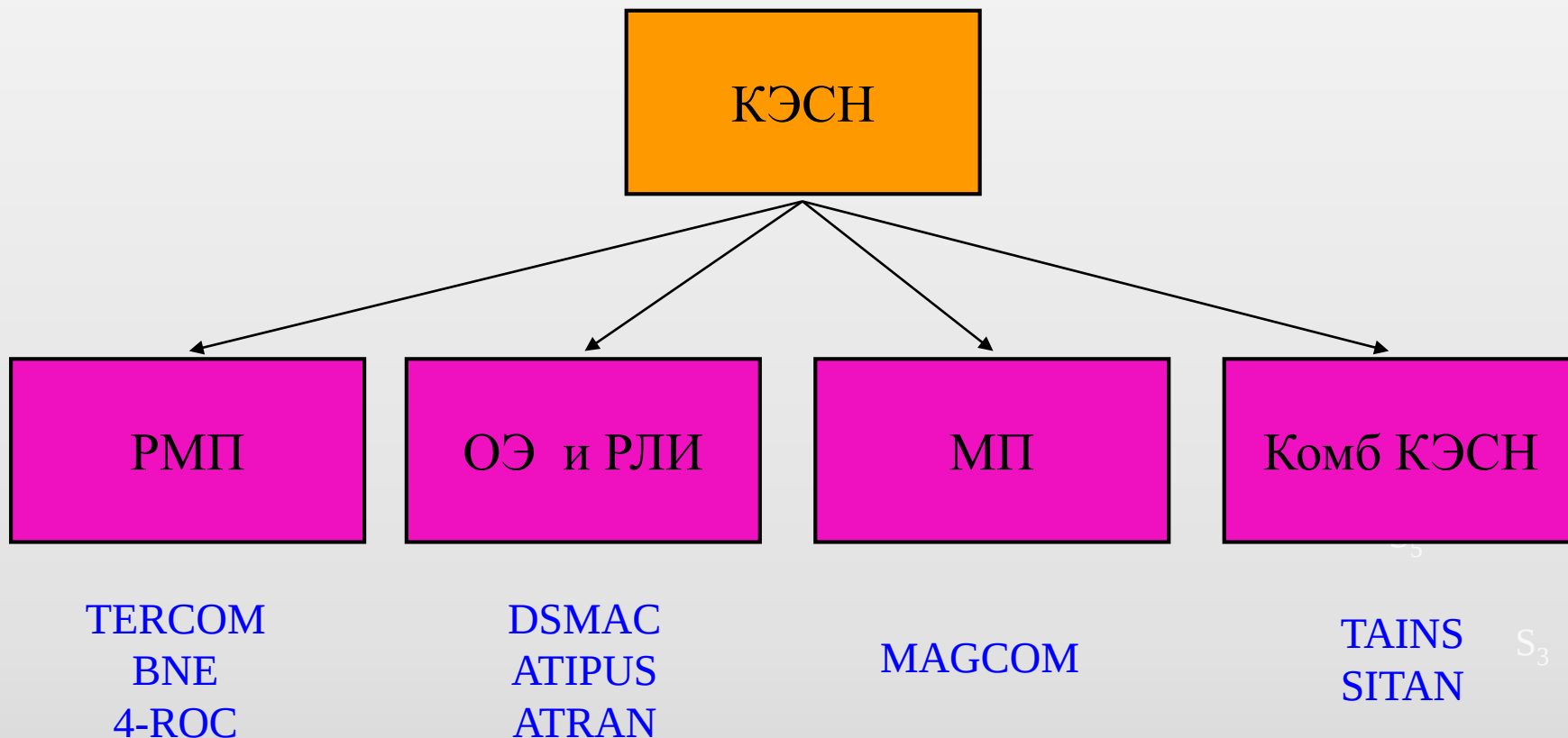


**МОДУЛЬ 3.
КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ
СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ КРЫЛАТЫХ
РАКЕТ**



Классификация КЭСН

Классификация КЭСН по типу ФП



Типы навигационных систем



Четыре типа навигационных систем:

IGS - Inertial Guidance System

Tercom - Terrain Contour Matching

GPS - Global Positioning System

DSMAC - Digital Scene Matching Area Correlation

S_1

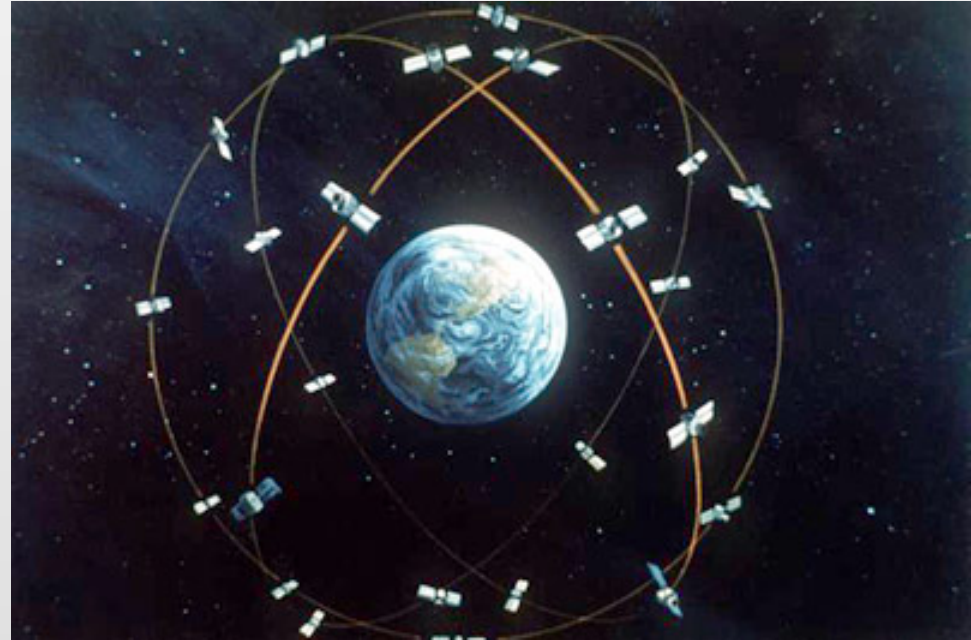
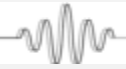
S_2

S_4 S_5

S_3



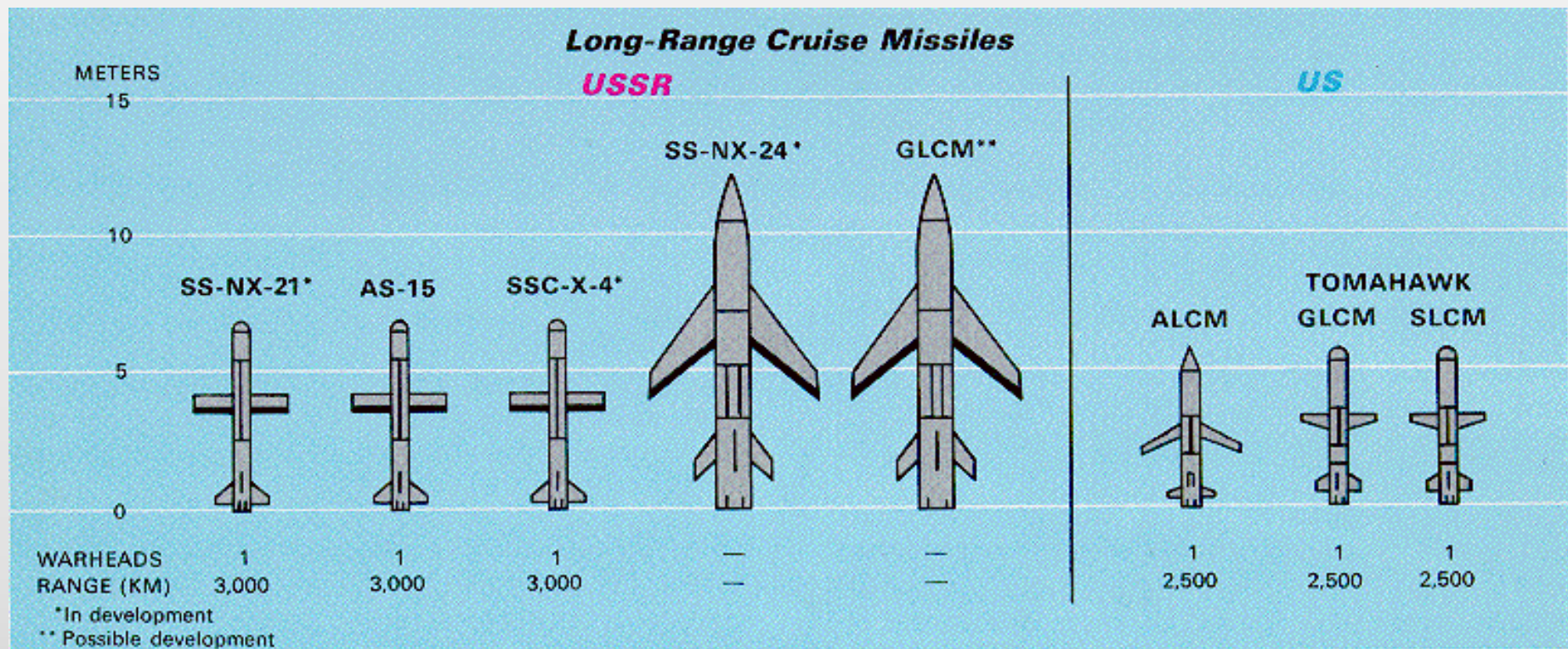
GPS спутники



Два оборота в день на расстоянии 19,300 km. Над каждым участком Земли в каждый момент времени находится 4 спутника



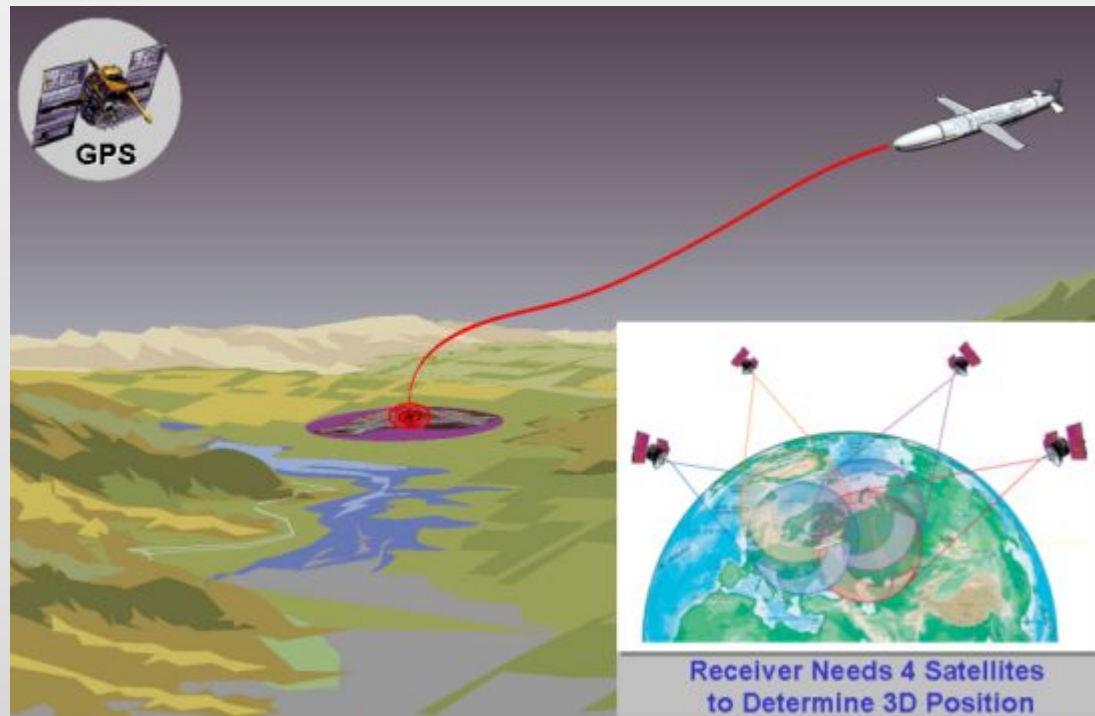
Крылатые ракеты России и США



Наведение крылатых ракет морского базирования



Наведение крылатых ракет

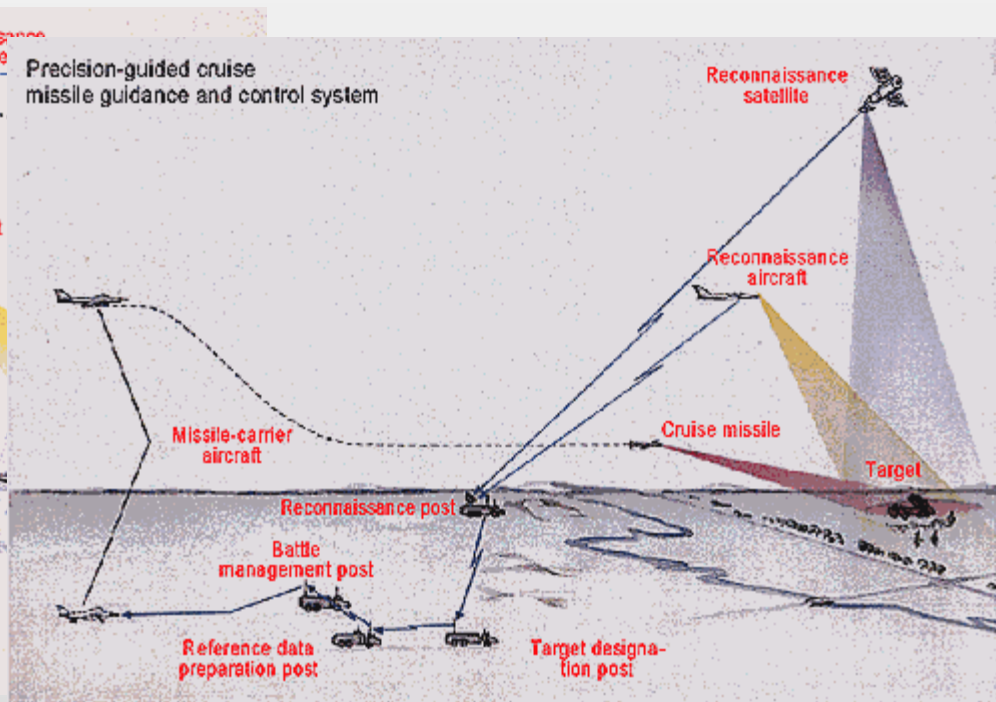
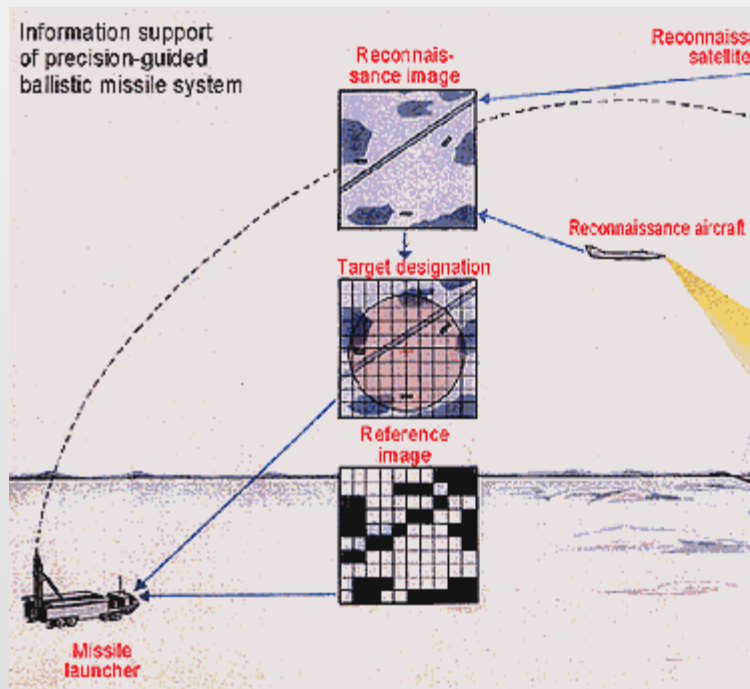


S_2

S_5

S_3

Наведение баллистических ракет

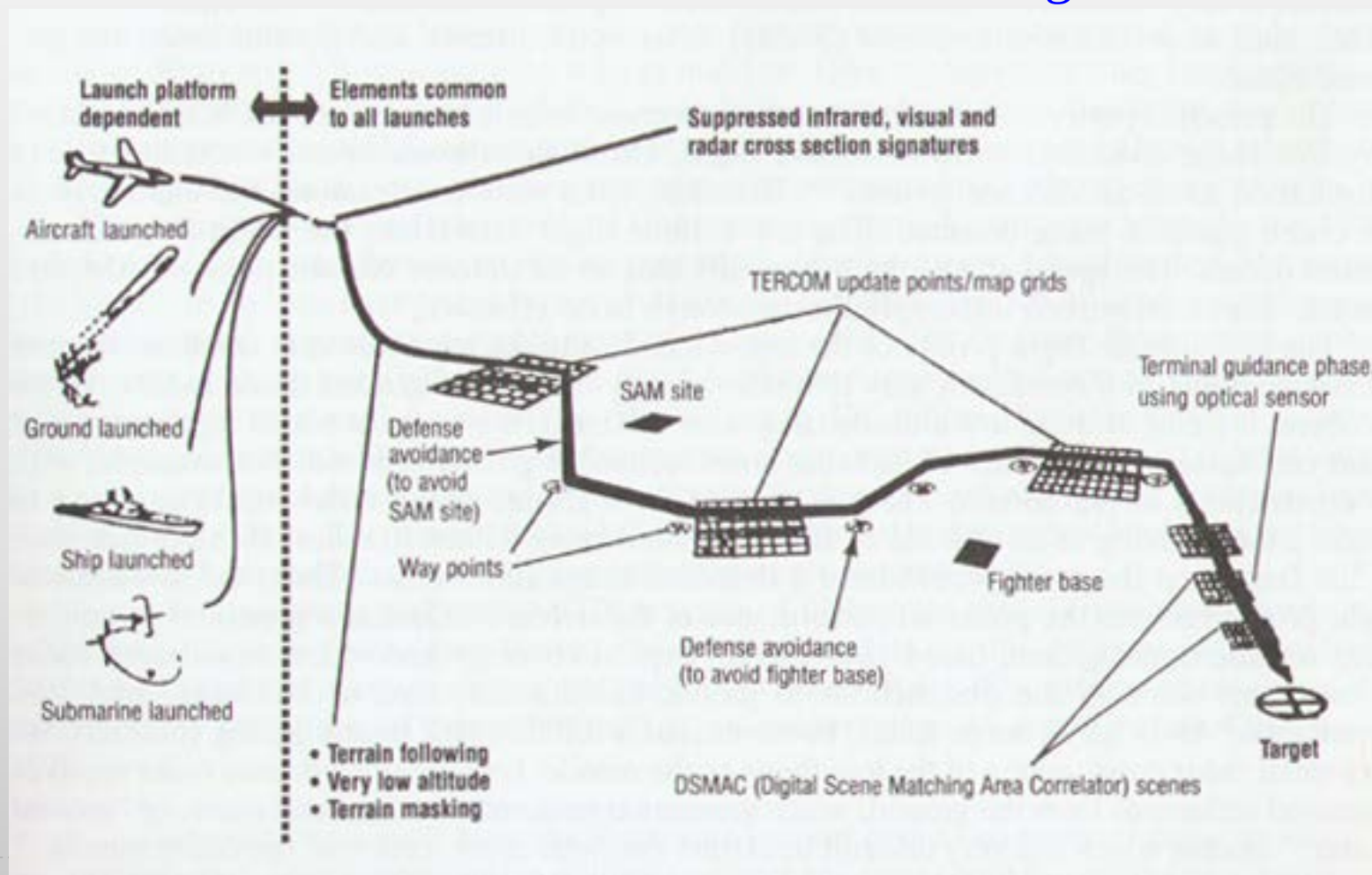




TERCOM

Контрольные районы

Tercom - Terrain Contour Matching



Принцип действия РМКЭСН

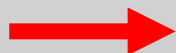
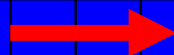


Эталонная карта рельефов местности

$f_1^{\vartheta}(n)$									
$f_2^{\vartheta}(n)$									
....									
$f_{L-1}^{\vartheta}(n)$									
$f_L^{\vartheta}(n)$									

Контрольный район

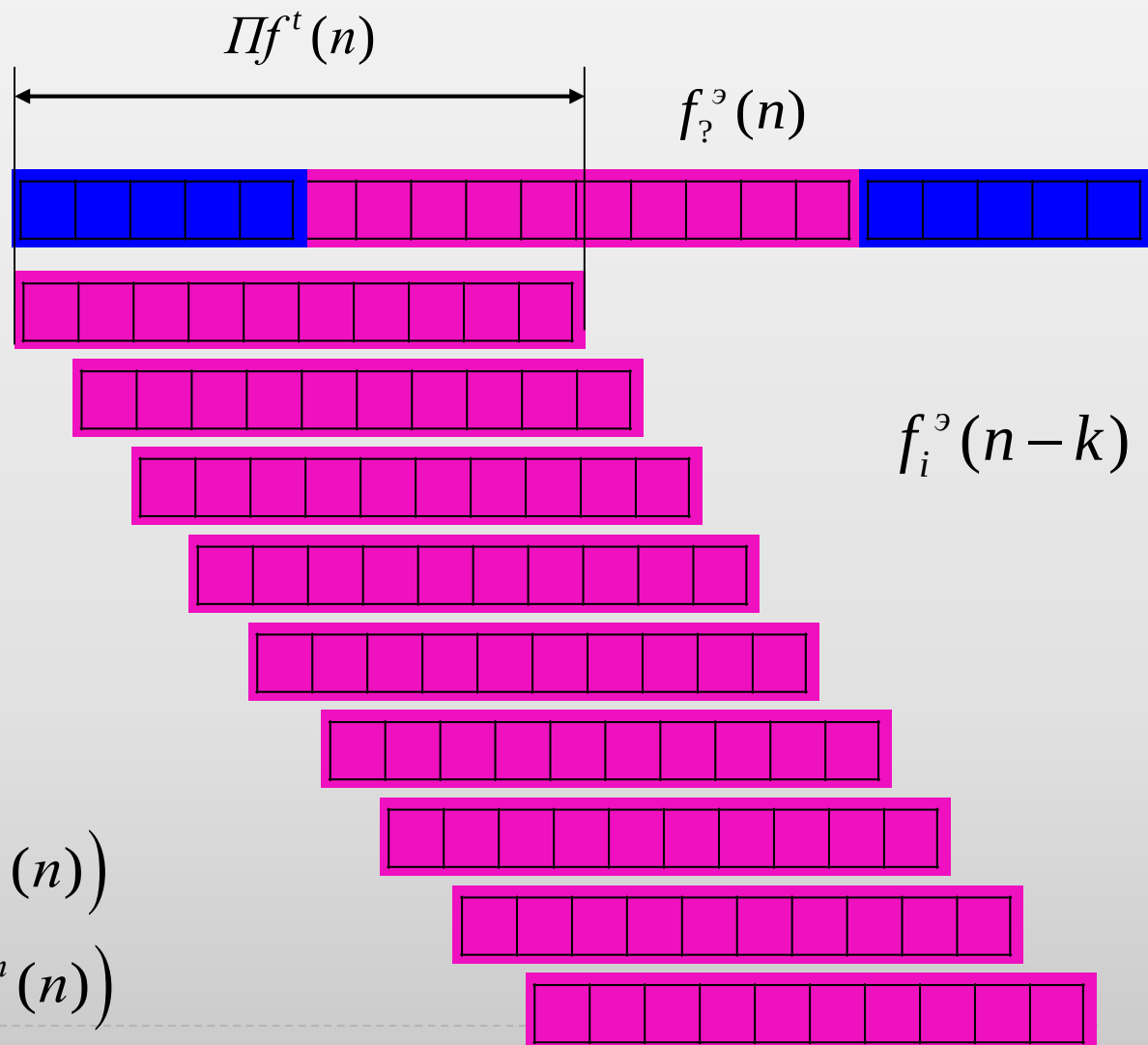
$f_1^m(x)$																			
$f_2^m(x)$																			
....																			
$f_{N-1}^m(x)$																			
$f_N^m(x)$																			



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

$f_{?}^{\vartheta}(n)$

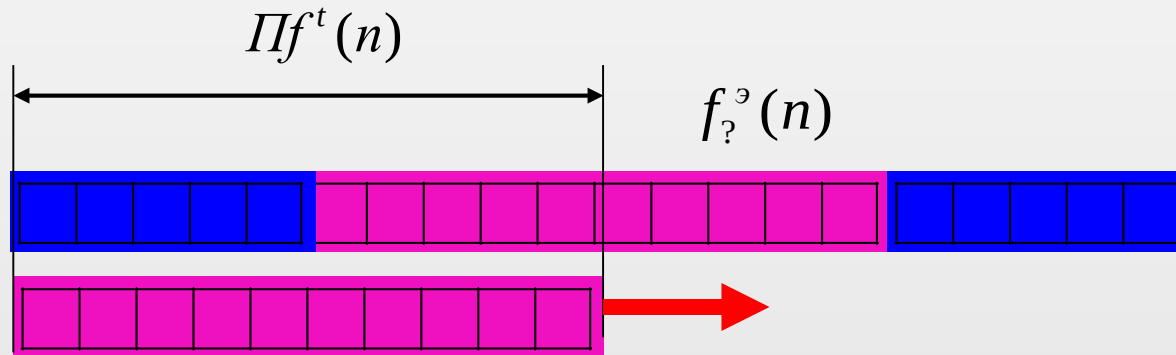
Принцип действия РМКЭСН



$$\mu_s \left(f_i^{\gamma}(n-k), \Pi f^m(n) \right)$$

$$\mu_d \left(f_i^{\gamma}(n-k), \Pi f^m(n) \right)$$

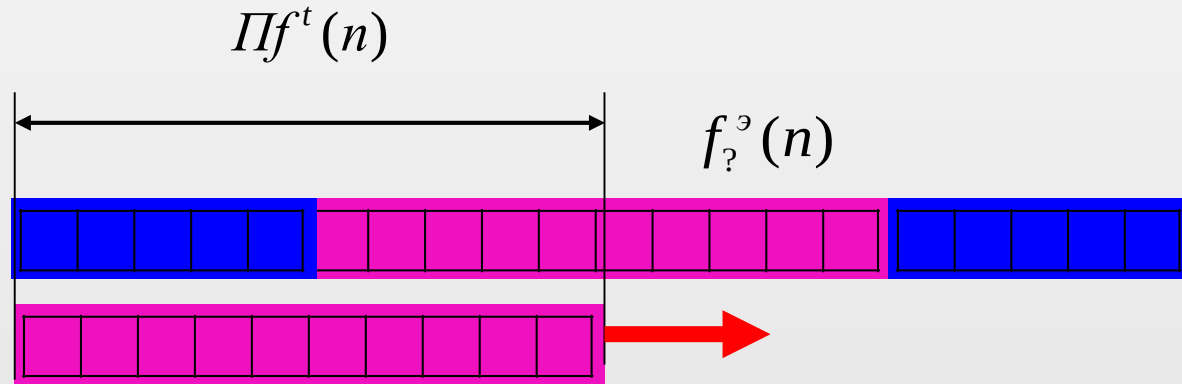
Меры сходства и различия



$$f_i^{\cap}(n-k), \quad i = 1, 2, \dots, L$$

$$\begin{aligned} \mu_i(k) &= \mu_d \left(f_i^{\cap}(n-k), \Pi f^t(n) \right) = \\ &= \sqrt{\sum_{x=0}^{N-1} \left(\Pi f^t(n) - f_i^{\cap}(n-k) \right)^2} \end{aligned}$$

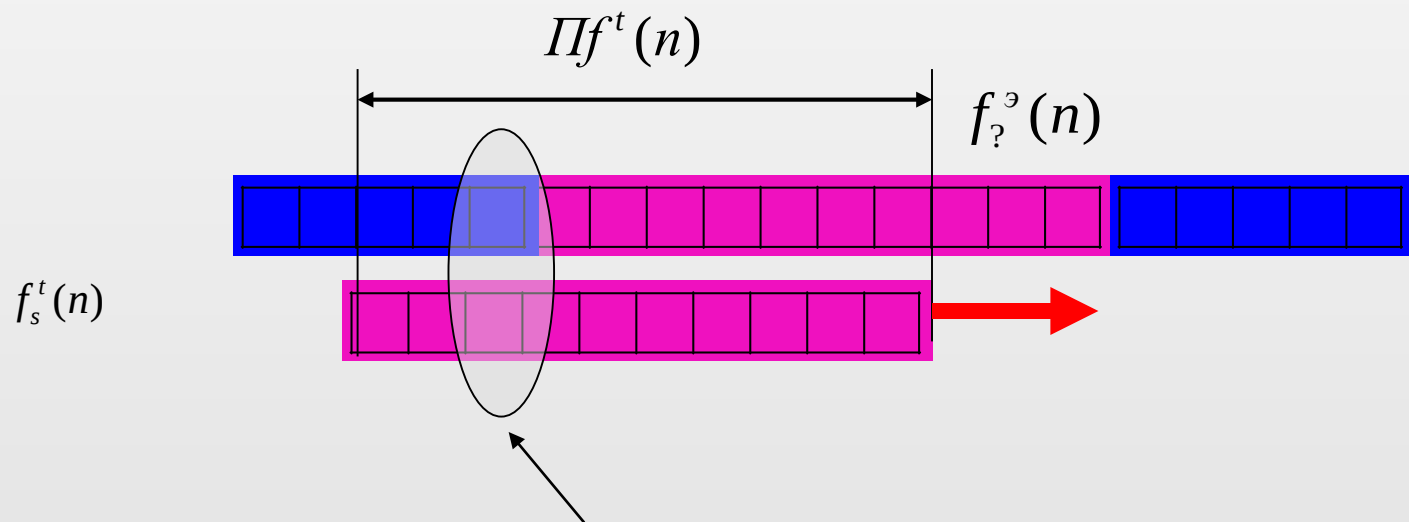
Меры сходства и различия



$$f_i^{\vartheta}(n-k), \quad i = 1, 2, \dots, L$$

$$\begin{aligned} \mu_i(k) &= \mu_s \left(f_i^{\vartheta}(n-k), \Pi f^m(n) \right) = \\ &= \frac{\sum_{x=0}^{N-1} \Pi f^m(n) f_i^{\vartheta}(n-k)}{\sqrt{\sum_{x=0}^{N-1} \left(\Pi f^m(n) \right)^2} \sqrt{\sum_{x=0}^{N-1} \left(f_i^{\vartheta}(n-k) \right)^2}} \end{aligned}$$

Меры сходства и различия

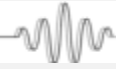


$$\Delta_k(n) = \Pi f^t(n) - f_i^s(n - k) \quad \text{- невязка в точке } n$$

$$\Delta_k(0), \Delta_k(1), \dots, \Delta_k(N) \text{ - } N \text{ невязок}$$



Меры сходства и различия



► Основные ограничения:

- 1) $y = \mathbf{Aggreg}(\Delta) = \Delta$
- 2) $y = \mathbf{Aggreg}(0, \dots, 0) = 0$ and $\mathbf{Aggreg}(\Delta, \dots, \Delta) = \Delta$

► Дополнительные ограничения:

- 1) $\mathbf{Aggreg}(\Delta_{\sigma(0)}, \Delta_{\sigma(1)}, \dots, \Delta_{\sigma(N-1)}) = \mathbf{Aggreg}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1})$
- 2) $\min(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) \leq \mathbf{Aggreg}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) \leq \max(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1})$.

Меры сходства и различия



1. Арифметическое среднее

$$\mathbf{Aggreg}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |\Delta_i|$$

2. Взвешенное среднее

$$\mathbf{Aggreg}_{w_1 w_2 \dots w_k}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_{w_1 w_2 \dots w_k}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \frac{1}{\sum_{i=0}^{N-1} w_i} \sum_{i=0}^{N-1} w_i |\Delta_i|$$

3. Степенные p – средние

$$\mathbf{Aggreg}_p(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_p(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \sqrt[p]{\frac{1}{k} \sum_{i=0}^{N-1} |\Delta_i|^p}$$

3.1. Обычное среднее ($p = 1$)

$$\mathbf{Aggreg}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{N-1} |\Delta_i|$$

3.2. Квадратичное среднее ($p = 2$)

$$\mathbf{Aggreg}_2(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_2(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=0}^{N-1} |\Delta_i|^2}$$

3.3. ∞ -среднее ($k = \infty$)

$$\mathbf{Aggreg}_{\infty}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_{\infty}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \mathbf{Max}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

Меры сходства и различия



4. Геометрическое среднее

$$\mathbf{Aggreg}_{Geo}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_{Geo}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \sqrt[N]{\prod_{i=0}^{N-1} |\Delta_i|}$$

5. Гармоническое среднее

$$\mathbf{Aggreg}_{Har}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_{Har}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \frac{1}{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{|\Delta_i|}}$$

6. Min-, Max-средние

$$\mathbf{Aggreg}_{-\infty}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Min}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

$$\mathbf{Aggreg}_{+\infty}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Max}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

7. Медиана

$$\mathbf{Aggreg}_{Med}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Med}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

$$\mathbf{Aggreg}_{+\infty}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Max}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

8. r -Ранг

$$\mathbf{Aggreg}_{rank}^r(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Rank}_r(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

Меры сходства и различия



9. Средние по Колмогорову

$$\mathbf{Aggreg}_{Kol}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_{Kol}(x_1, x_2, \dots, x_k) = f^{-1}\left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k f(x_i)\right)$$

9.1. Степенное "p"-среднее $\left(f(x) = x^p, f^{-1}(y) = \sqrt[p]{y}\right)$

$$\mathbf{Aggreg}_2(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_2(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sqrt[p]{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i^p}$$

9.2. Степенное "1/p"-среднее $\left(f(x) = x^{1/p} = \sqrt[p]{x}, f^{-1}(y) = y^p\right)$

$$\mathbf{Aggreg}_2(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_2(x_1, x_2, \dots, x_k) = \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sqrt[p]{x_i}\right)^2$$

9.3. Степенное "-p"-среднее $\left(f(x) = x^{-p} = \frac{1}{x^p}, f^{-1}(y) = y^{-1/p} = \sqrt[p]{\frac{1}{y^p}}\right)$

$$\mathbf{Aggreg}_{Har}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_{Har}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sqrt[p]{\frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{x_i^p}}}$$

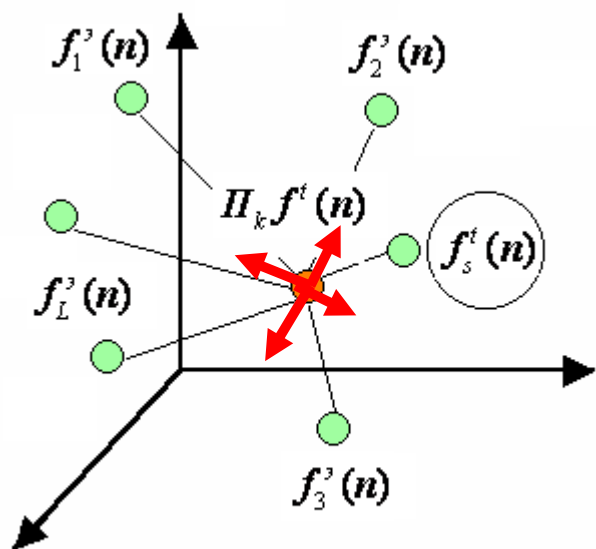
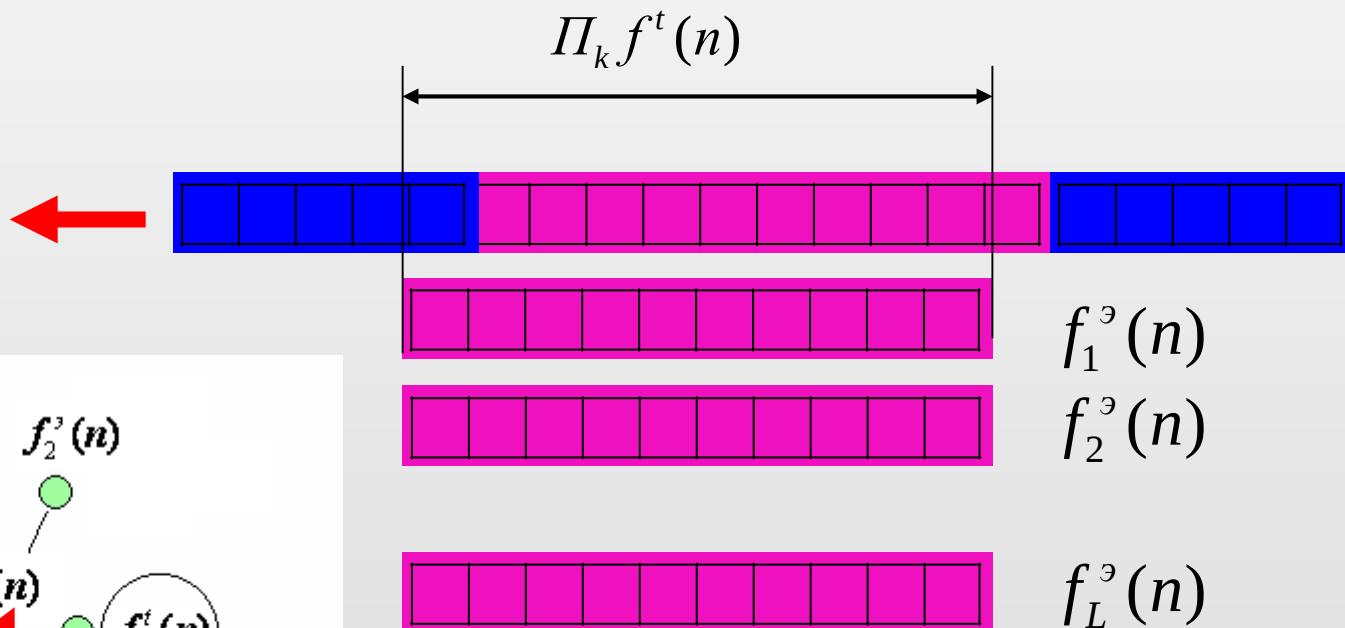
9.4. Степенное "-1/p"-среднее $\left(f(x) = x^{-1/p} = \frac{1}{x^p}, f^{-1}(y) = y^{-p} = \sqrt[p]{\frac{1}{y}}\right)$

$$\mathbf{Aggreg}_{Har}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_{Har}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sqrt[p]{\frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{x_i^p}}}$$

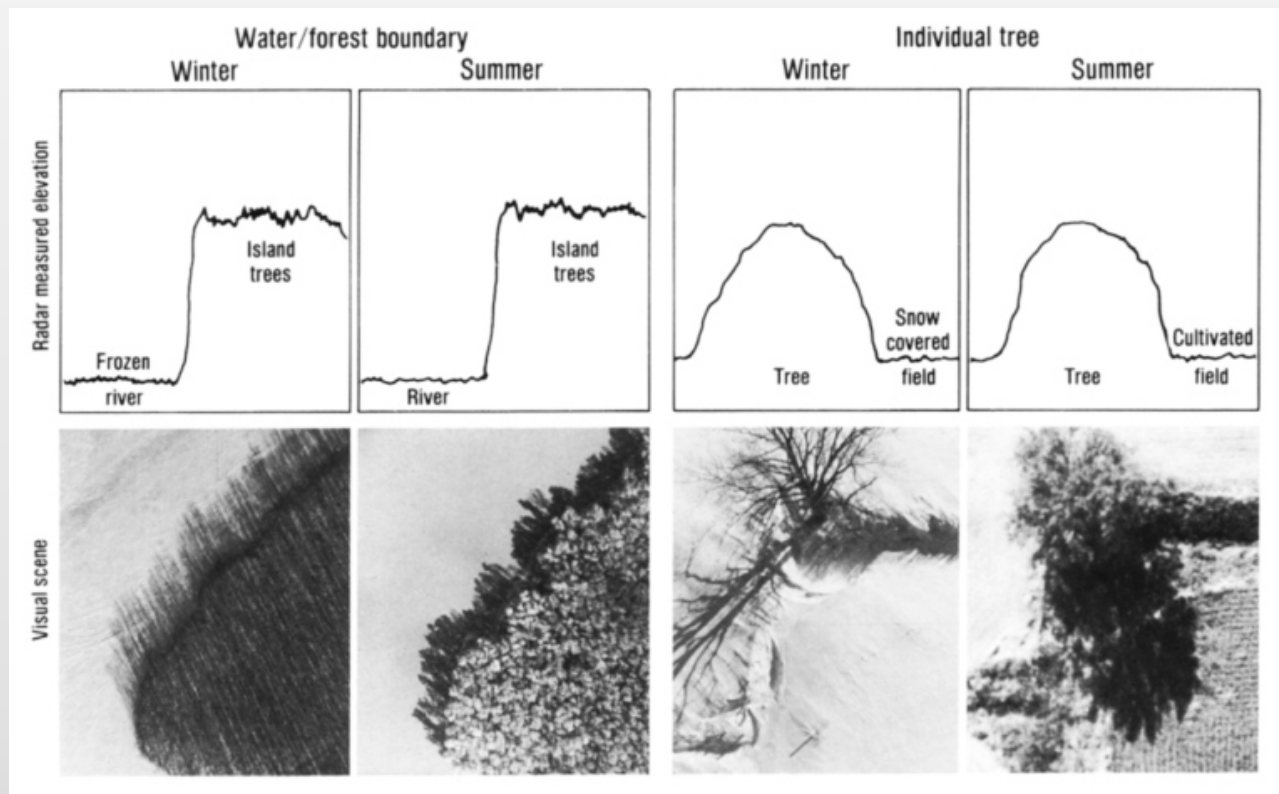
9.5. Геометрическое $\left(f(x) = \ln x, f^{-1}(y) = \sqrt[p]{\frac{1}{y^p}}\right)$

$$\mathbf{Aggreg}_{Geo}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_{Geo}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^k x_i}$$

Теория РО в КЭСН

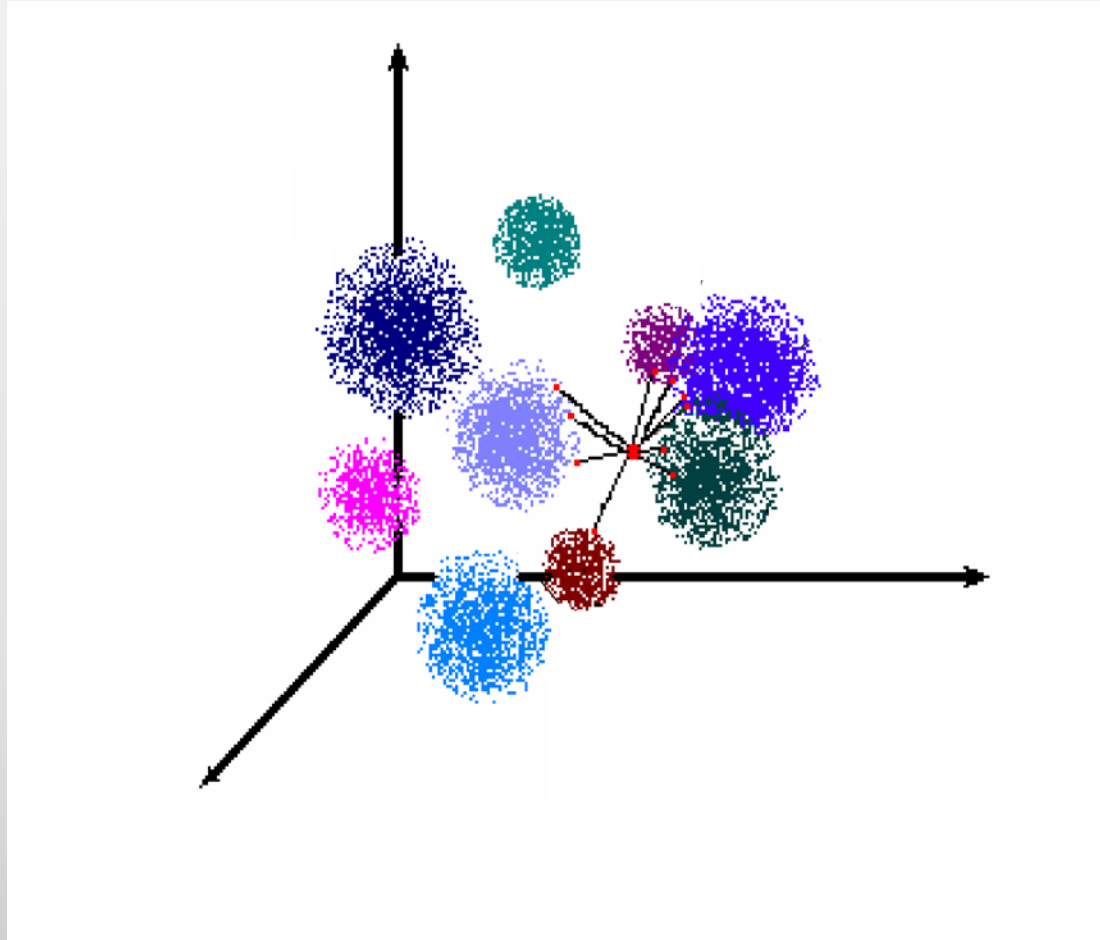
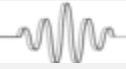


Учет сезонных и погодных изменений

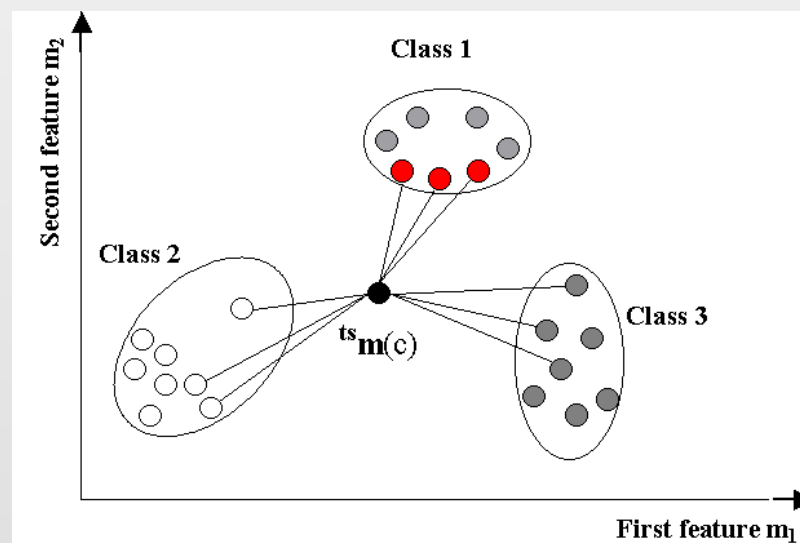
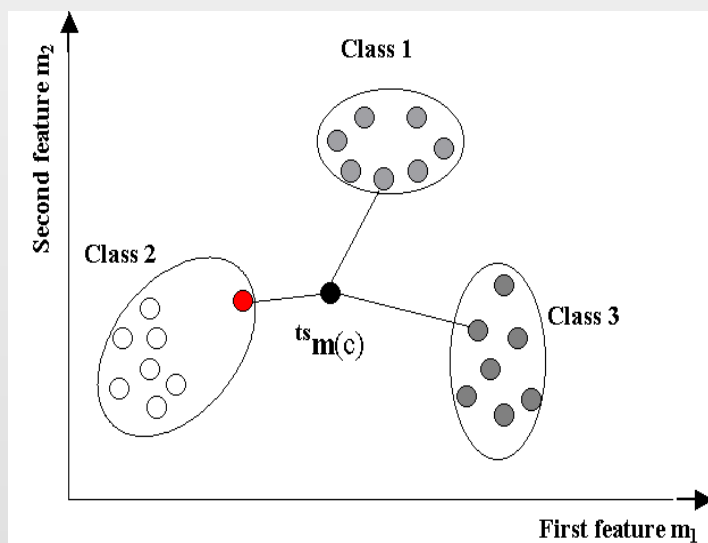


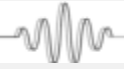
Чувствительность TERCOM-овского радиолокационного
альтиметра к сезонным изменениям

Учет сезонных и погодных изменений



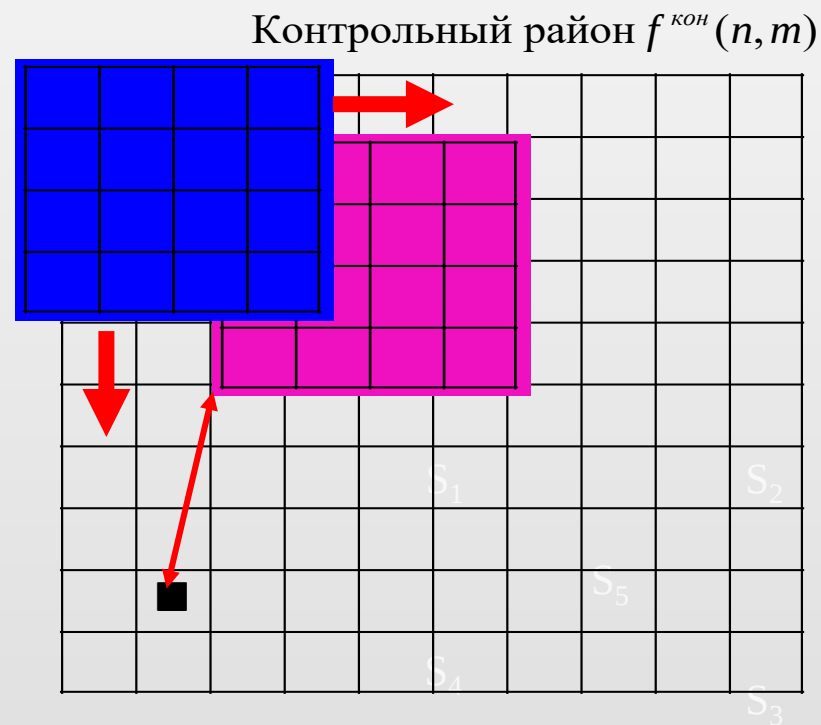
Учет сезонных и погодных изменений





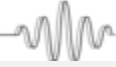
DSMAC

DSMAC - Digital Scene Matching Area Correlation



Эталонный район				
	0	1	...	$M-1$
0				
1				
$\vdots$				
$M-1$				

Учет сезонных и погодных изменений



$$\begin{aligned}\mu_i(k, l) &= \mu_s \left(f_i^{\vartheta}(n-k, m-l), \Pi f^m(n) \right) = \\ &= \frac{\sum_{n, m=0}^{M-1} \Pi f^{koh}(n, m) f_i^{\vartheta}(n-k, m-l)}{\sqrt{\sum_{n, m=0}^{M-1} \left(\Pi f^m(n, m) \right)^2} \sqrt{\sum_{n, m=0}^{M-1} \left(f_i^{\vartheta}(n, m) \right)^2}}\end{aligned}$$

$\Delta_k(n, m) = \Pi_{k,l} f^{koh}(n, m) - f_i^{\vartheta}(n, m)$ - невязка в пикселе (n, m)

Всего имеется $N = M^2$ невязок

Меры сходства и различия



1. Арифметическое среднее

$$\mathbf{Aggreg}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |\Delta_i|$$

2. Взвешенное среднее

$$\mathbf{Aggreg}_{w_1 w_2 \dots w_k}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_{w_1 w_2 \dots w_k}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \frac{1}{\sum_{i=0}^{N-1} w_i} \sum_{i=0}^{N-1} w_i |\Delta_i|$$

3. Степенные p – средние

$$\mathbf{Aggreg}_p(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_p(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \sqrt[p]{\frac{1}{k} \sum_{i=0}^{N-1} |\Delta_i|^p}$$

3.1. Обычное среднее ($p = 1$)

$$\mathbf{Aggreg}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{N-1} |\Delta_i|$$

3.2. Квадратичное среднее ($p = 2$)

$$\mathbf{Aggreg}_2(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_2(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=0}^{N-1} |\Delta_i|^2}$$

3.3. ∞ -среднее ($k = \infty$)

$$\mathbf{Aggreg}_{\infty}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_{\infty}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \mathbf{Max}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

Меры сходства и различия



4. Геометрическое среднее

$$\mathbf{Aggreg}_{Geo}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_{Geo}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \sqrt[N]{\prod_{i=0}^{N-1} |\Delta_i|}$$

5. Гармоническое среднее

$$\mathbf{Aggreg}_{Har}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Mean}_{Har}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|) = \frac{1}{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{|\Delta_i|}}$$

6. Min-, Max-средние

$$\mathbf{Aggreg}_{-\infty}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Min}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

$$\mathbf{Aggreg}_{+\infty}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Max}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

7. Медиана

$$\mathbf{Aggreg}_{Med}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Med}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

$$\mathbf{Aggreg}_{+\infty}(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Max}(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$

8. r -Ранг

$$\mathbf{Aggreg}_{rank}^r(\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_{N-1}) = \mathbf{Rank}_r(|\Delta_0|, |\Delta_1|, \dots, |\Delta_{N-1}|)$$



Меры сходства и различия



9. Средние по Колмогорову

$$\mathbf{Aggreg}_{Kol}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_{Kol}(x_1, x_2, \dots, x_k) = f^{-1}\left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k f(x_i)\right)$$

9.1. Степенное "p"-среднее $\left(f(x) = x^p, f^{-1}(y) = \sqrt[p]{y}\right)$

$$\mathbf{Aggreg}_2(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_2(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sqrt[p]{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i^p}$$

9.2. Степенное "1/p"-среднее $\left(f(x) = x^{1/p} = \sqrt[p]{x}, f^{-1}(y) = y^p\right)$

$$\mathbf{Aggreg}_2(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_2(x_1, x_2, \dots, x_k) = \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sqrt[p]{x_i}\right)^2$$

9.3. Степенное "-p"-среднее $\left(f(x) = x^{-p} = \frac{1}{x^p}, f^{-1}(y) = y^{-1/p} = \sqrt[p]{\frac{1}{y^p}}\right)$

$$\mathbf{Aggreg}_{Har}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_{Har}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sqrt[p]{\frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{x_i^p}}}$$

9.4. Степенное "-1/p"-среднее $\left(f(x) = x^{-1/p} = \frac{1}{x^p}, f^{-1}(y) = y^{-p} = \sqrt[p]{\frac{1}{y}}\right)$

$$\mathbf{Aggreg}_{Har}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_{Har}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sqrt[p]{\frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{x_i^p}}}$$

9.5. Геометрическое $\left(f(x) = \ln x, f^{-1}(y) = \sqrt[p]{\frac{1}{y^p}}\right)$

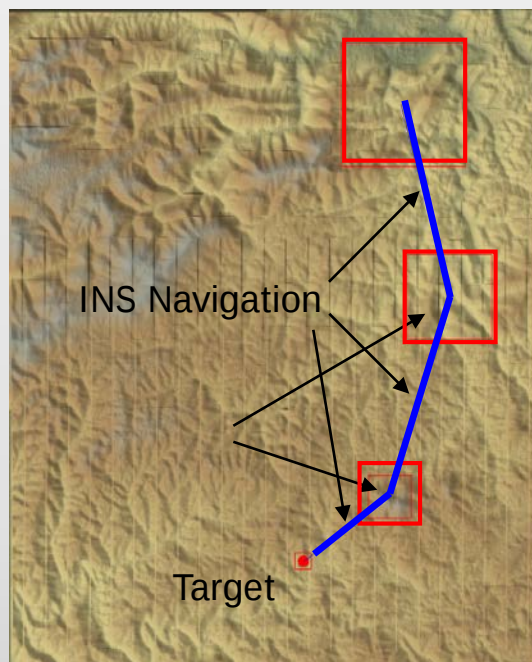
$$\mathbf{Aggreg}_{Geo}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \mathbf{Mean}_{Geo}(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^k x_i}$$

Точность крылатых ракет



Tomahawk

Tomahawk траектория полета с использованием ИНС, TERCOM и DSMAC



S_5 S_4

S_3

Tomahawk в полете



Типы Tomahawk

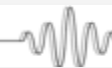


S_1

S_2



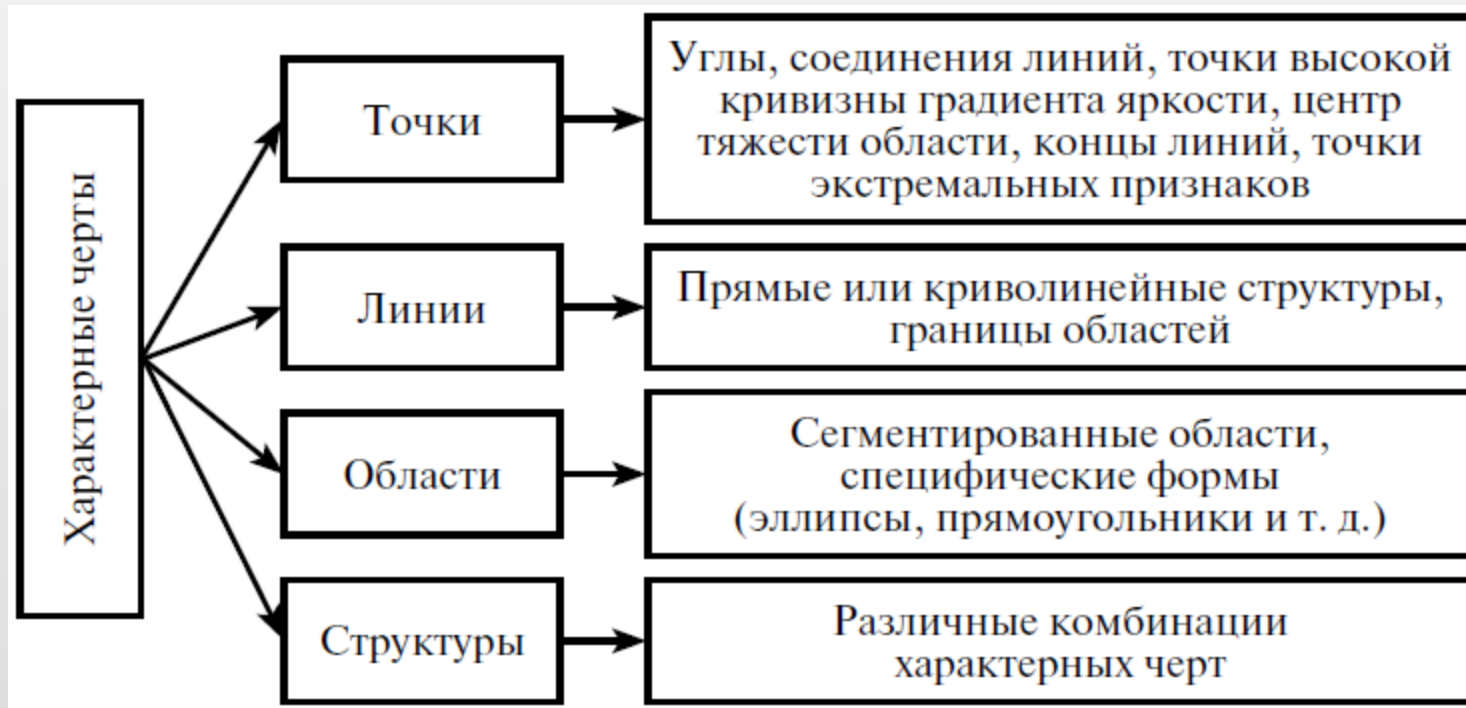
Начальный участок полета Tomahawk





КЭСН по характерным признакам

Основные типы характерных черт



S₂

S₃

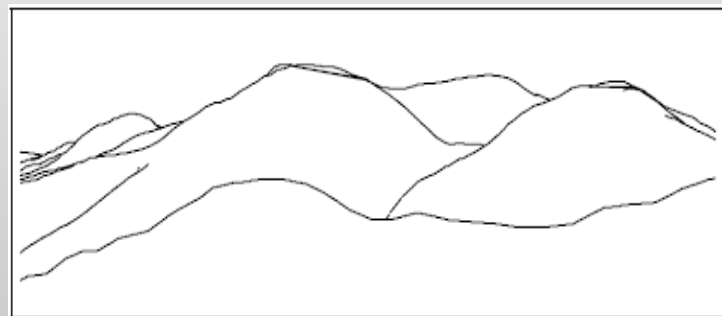
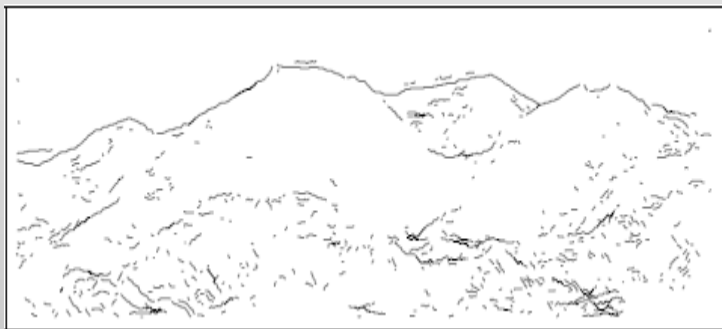
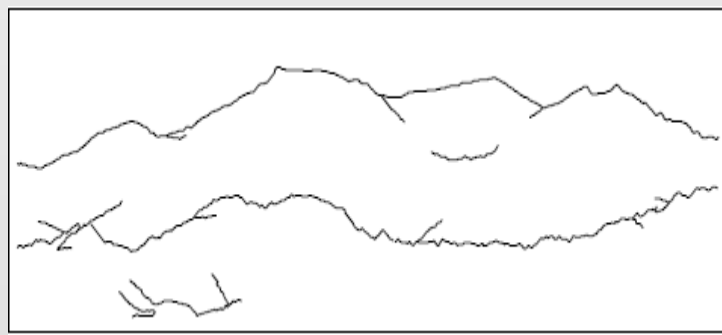
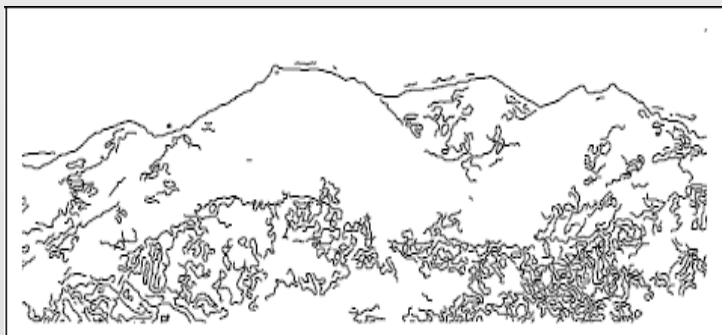
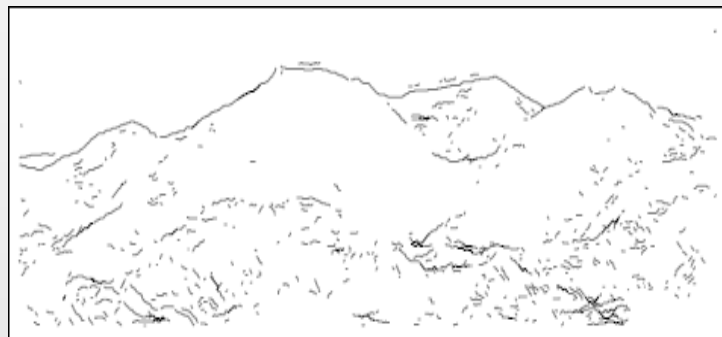
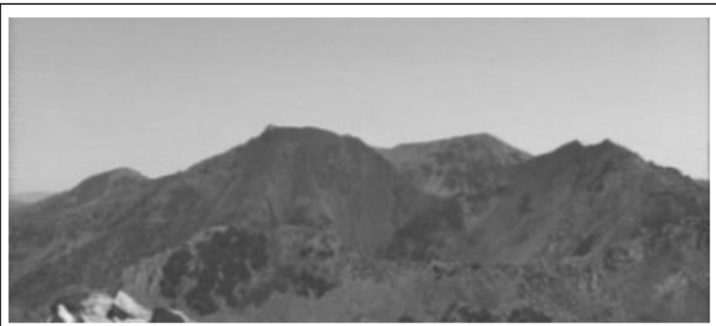
Основные типы характерных черт



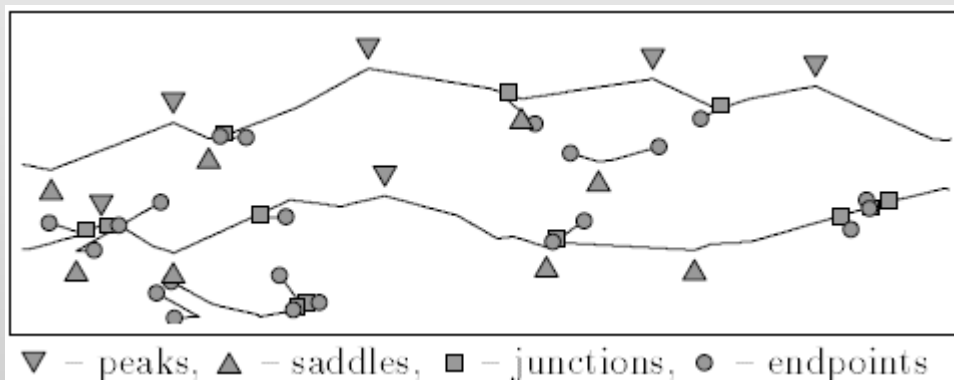
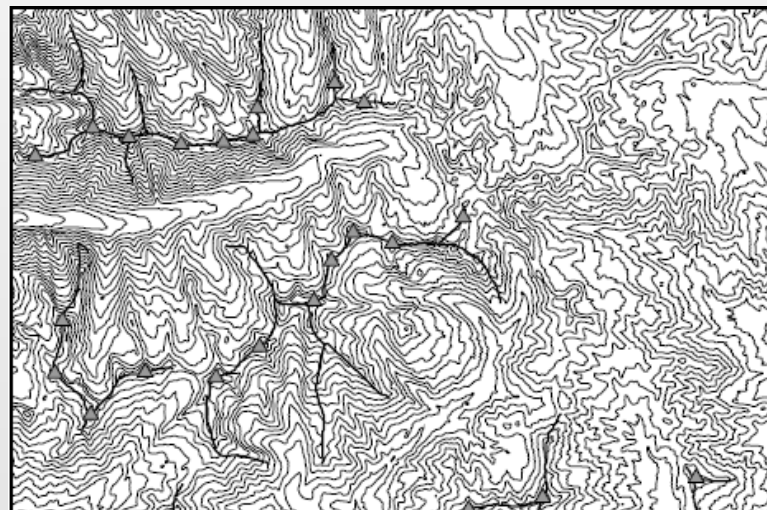
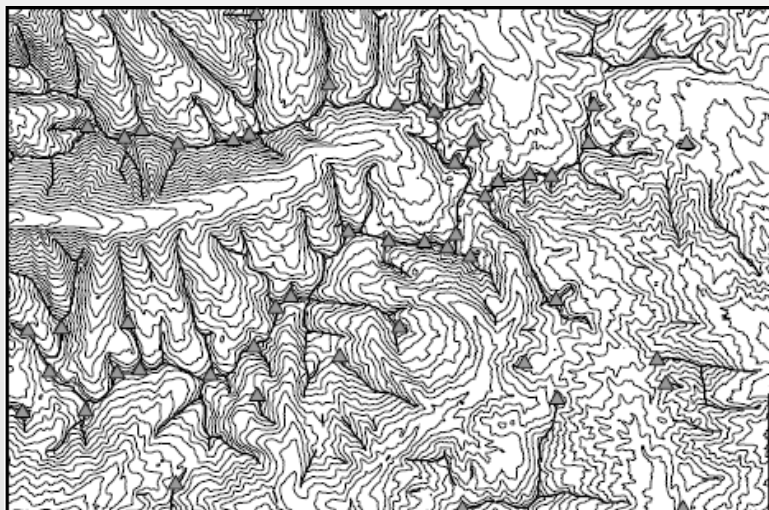
- 1) *положение*: концы отрезка, центр отрезка, центр тяжести области, вершины многоугольников;
- 2) *геометрические* атрибуты: ориентация, длина, кривизна, площадь, периметр, ширина линии, минимальный и максимальный диаметр области, оси симметрии, число и положение особых точек, показатель компактности и др.;
- 3) *радиометрические* атрибуты: контраст, статистика распределения яркости, знак и величина края, автокорреляция;
- 4) *текстурные* атрибуты: матрица смежности, показатель однородности, энергия, энтропия, статистика градиентов текстуры, результаты применения текстурных фильтров, моменты;
- 5) *топологические* атрибуты: связность, соседство, общие точки, пересечение, параллельность, перекрытие, включение;
- 6) *цветовые / многозональные* атрибуты: вектор атрибутов для каждого канала;
- 7) *динамические* атрибуты: атрибуты статических и движущихся объектов;
- 8) *временные* атрибуты: функции изменения атрибутов со временем.



Основные типы характерных черт



Выделение пиков и хребтов



S_5

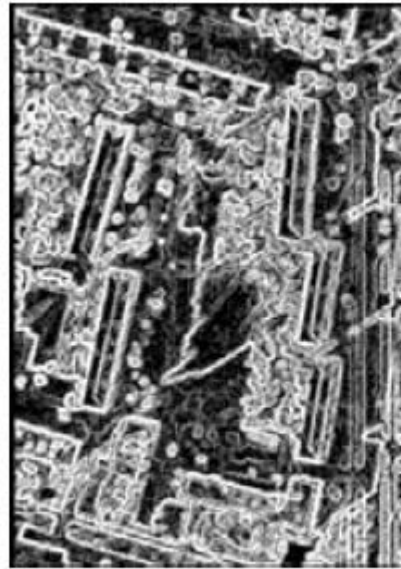
S_4

S_3

Этапы обнаружения зданий



a



б



в



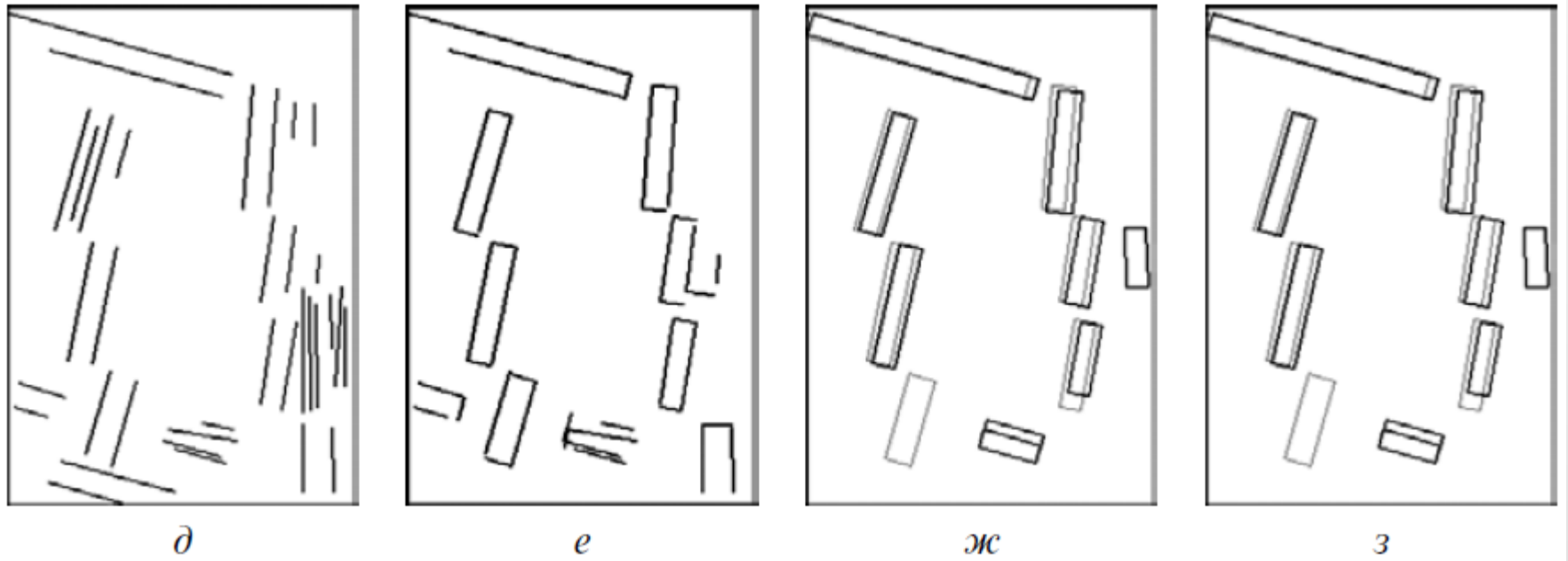
г

а) исходное изображение, б) продифференцированное изображение
в) выделение прямых линий, г) селекция линий по размеру

S_4

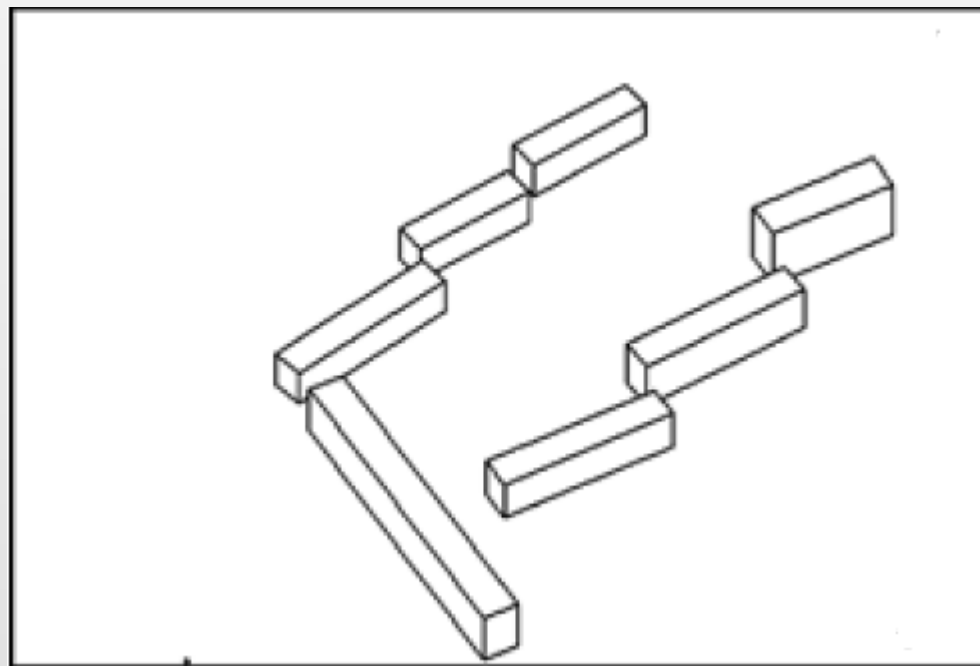
S_3

Этапы обнаружения зданий



д) поиск параллельных линий, е) селекция П-образных объектов
ж) построение 2D-модели, з) стерео отождествление

Этапы обнаружения зданий



S_1

S_2

S_5

S_4

S_3

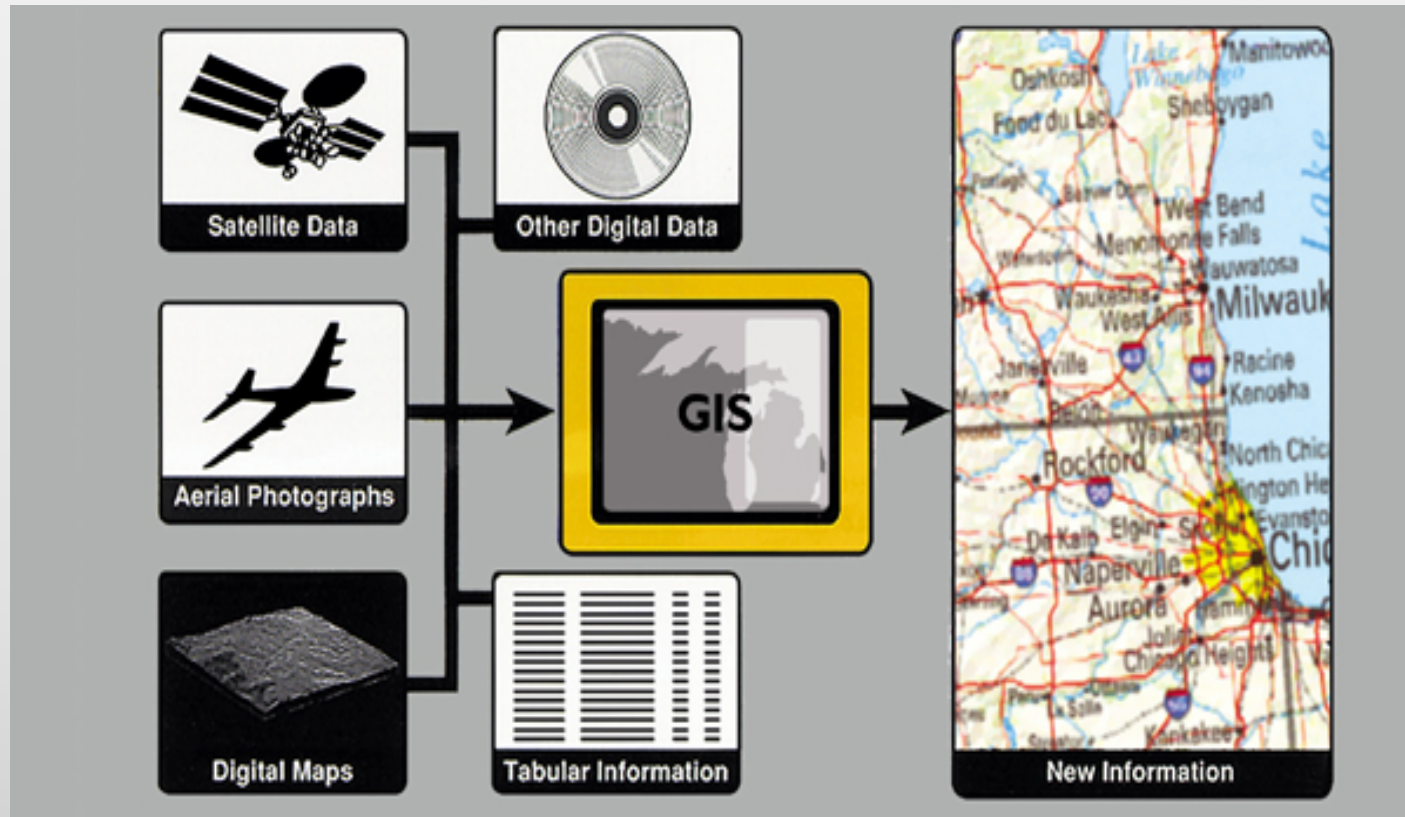
и) построение 3D-
модели





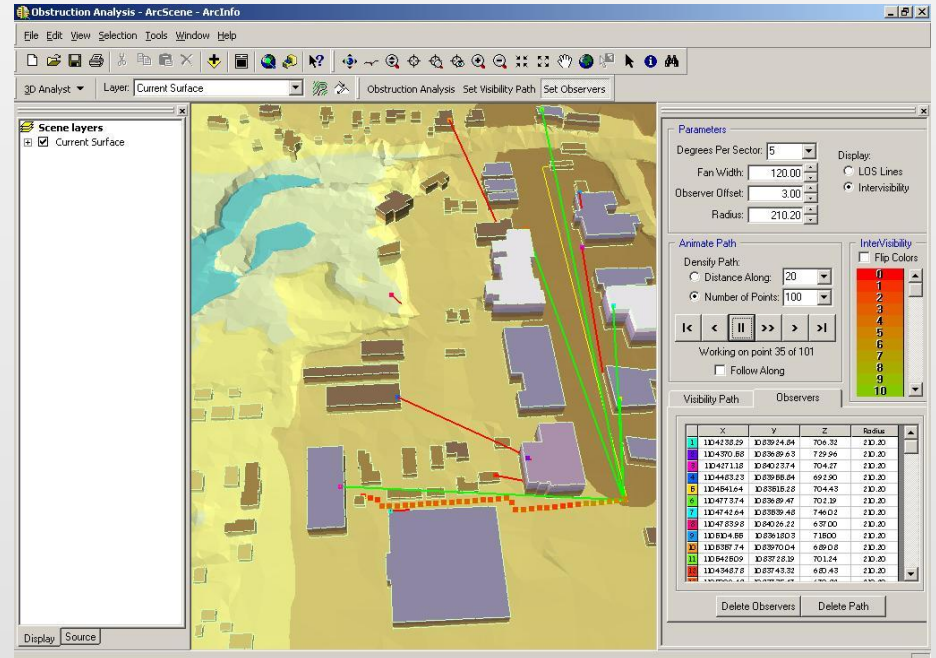
ГИСы для КЭСН

ГИСы для КЭС навигации



Агрегация разнородной геоинформации

ГИСы для КЭС навигации



Построение 3D моделей с точной координатной привязкой

ГИСы для КЭС навигации



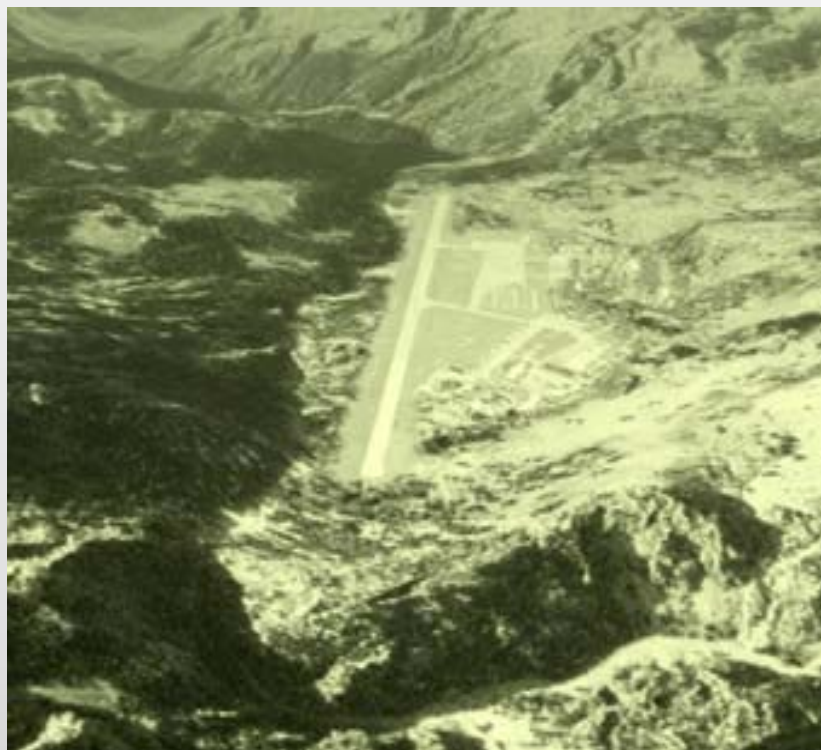
Пример синтеза модели «Каир» (Египет) по данным отечественной космической съёмки камерами ТК350 (стереоданные) и КВР1000 (панорамная съёмка)

 S_1 S_2 S_5 S_4 S_3 

ГИСы для КЭС навигации



пример синтеза модели «Аэропорт в горах» (Египет) по данным космических (общий план) и авиационных снимков



S_1

S_2

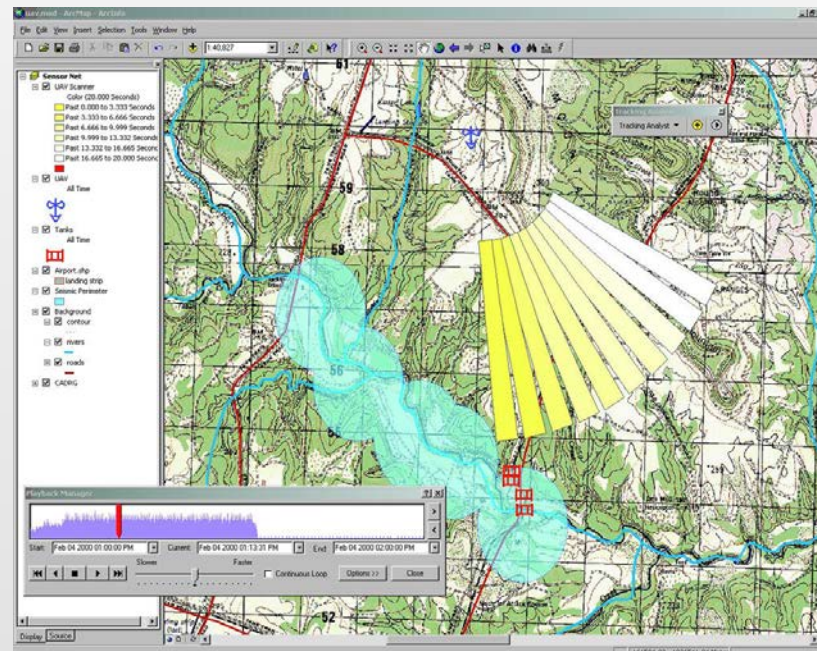
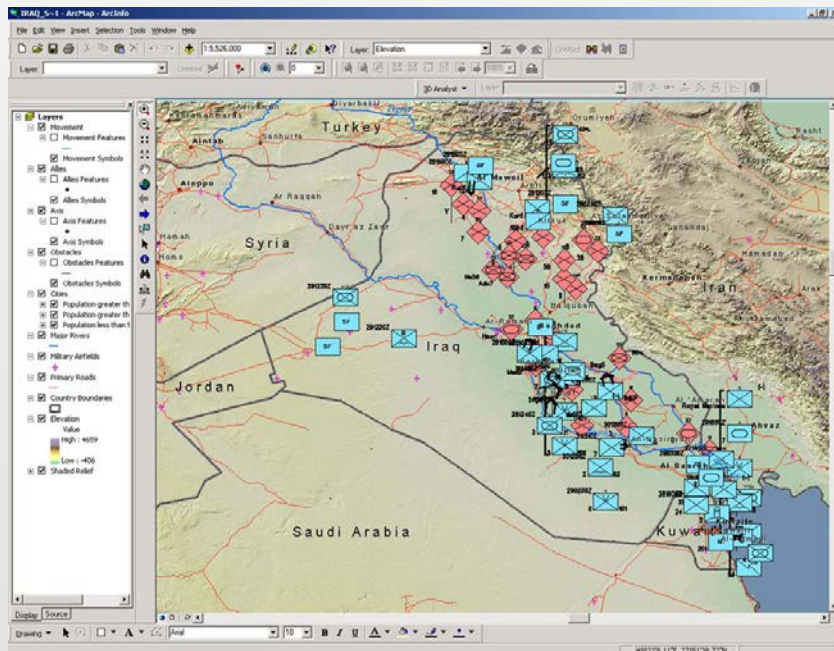
S_5

S_4

S_3

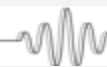


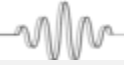
ГИСы для КЭС навигации



Прокладка маршрута, командование, управление войсками

ВОПРОСЫ





END

