



ФГУП «ГосНИИАС»

Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем
Государственный научный центр Российской Федерации

Алгоритм совмещения сенсорной и синтезируемой видеоинформации для авиационной системы комбинированного видения

**Лебедев М.А., Бондаренко М.А., Комаров Д.В.,
Степаньянц Д.Г., Выголов О.В., Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю.**



Актуальность задачи

10 основных факторов авиакатастроф в мировой авиации с 2002 по 2011 год*

Rank	Causal Group	Causal Factor	Onboard Fatalities	Percentage
1	Airline	Flight Crew Perception and Decision-making – Omission of action or inappropriate action	3,094	43%
2	Airline	Flight Crew Perception and Decision-making – Omission of action or inappropriate action	2,654	37%
3	Airline	Flight Crew Handling/Skill – Flight handling	2,402	34%
4	Airline	Flight Crew Perception and Decision-making – Poor professional judgement or airmanship	2,229	31%
5	Airline	Flight Crew Situational Awareness – Lack of positional awareness – in air	1,858	26%
6	Cabin	Fire/smoke resulting from impact	1,38	19%
7	Airline	Flight Crew Perception and Decision-making – “Press-on-itis”	1,051	15%
8	Aircraft Design	Design shortcomings (including documentation that forms part of the approved design standard)	1,013	14%
9	Airline	Flight Crew Situational Awareness – Lack of awareness of circumstances in flight	933	13%
10	Airline	Flight Crew Use of automation or tools – Interaction with automation	905	13%

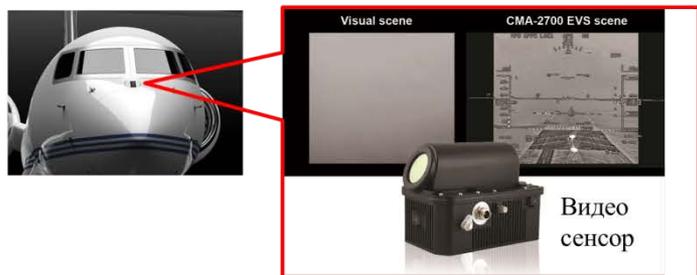


Повышение безопасности и эффективности воздушных перевозок требует разработки новых решений в области авионики, направленных на улучшение ситуационной информированности экипажа

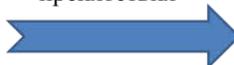
* Civil Aviation Authority “Global Fatal Accidents Review 2002 to 2011”

Перспективная концепция повышения ситуационной информированности экипажа

Система улучшенного видения (EVS)

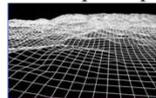


- Изображение актуальной закабинной обстановки, включая в т.ч. динамические препятствия



Система синтезированного видения (SVS)

Модель рельефа



Текстуры



SVS изображение



Навигационные данные



Препятствия



- Видимость визуальных ориентиров вне зависимости от фактических условий видимости



Система комбинированного видения (CVS)

С
О
В
М
Е
Щ
Е
Н
И
Е

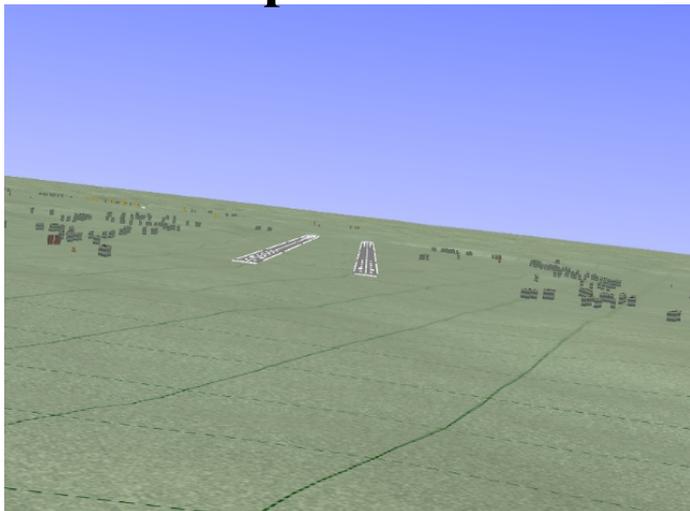


Основная задача синтеза CVS изображения

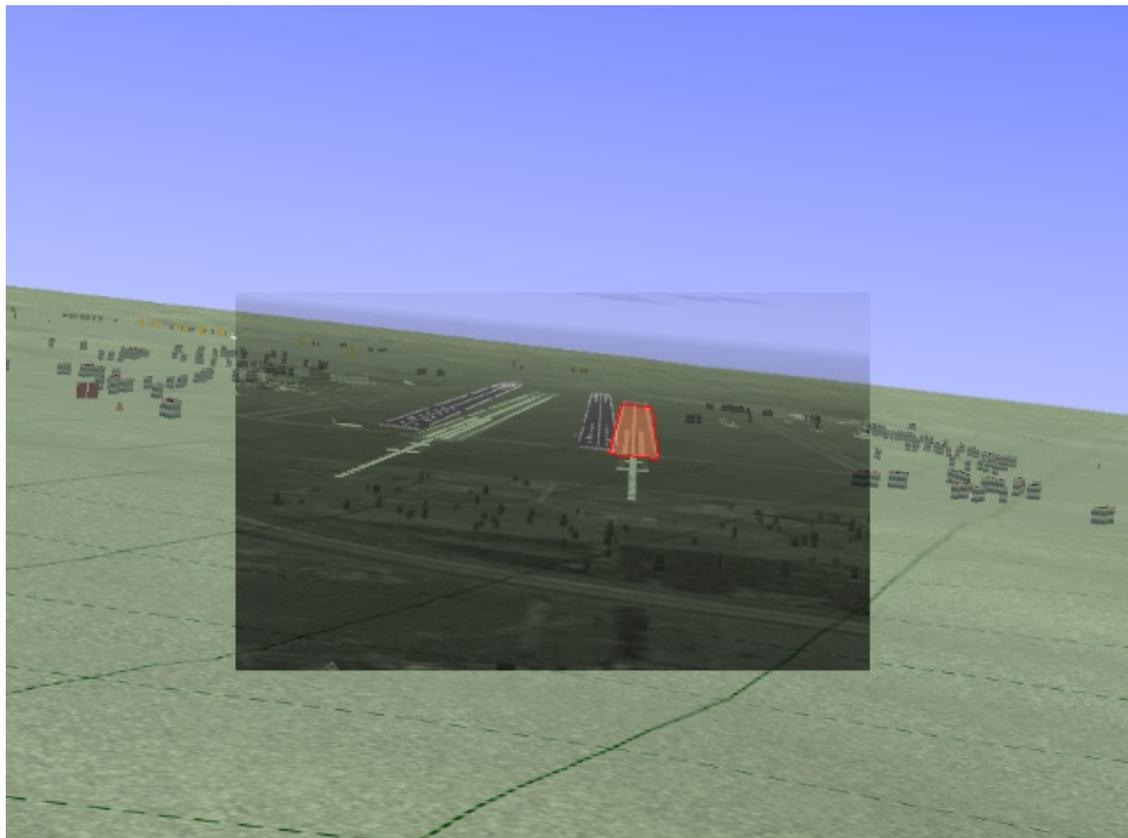
EVS изображение



SVS изображение



Совмещение EVS и SVS изображений



Комбинированное видение на основе сопоставления EVS и SVS изображений

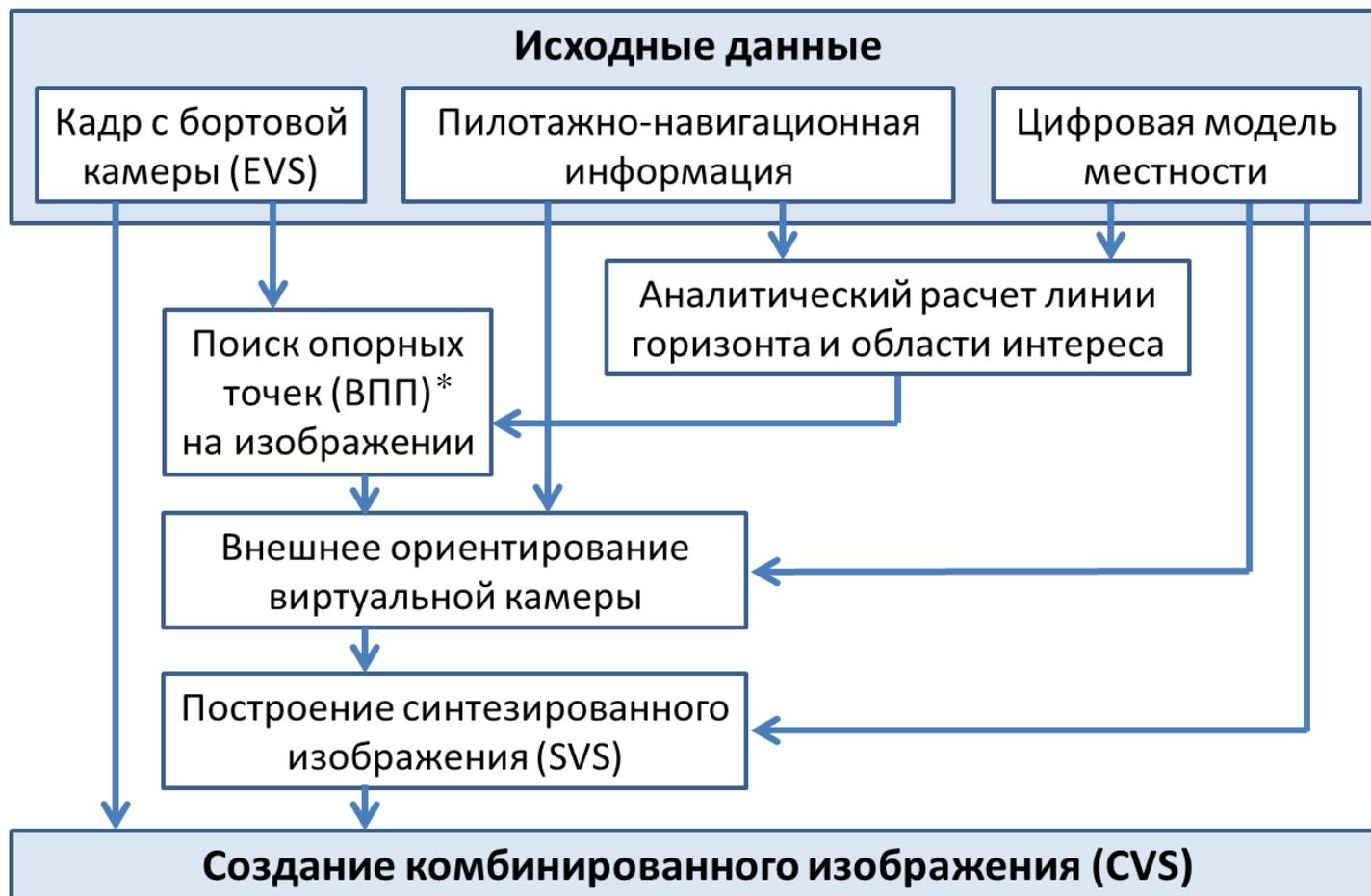
Один из возможных алгоритмов* основан на нахождении соответствия между контурными признаками EVS и SVS изображений и содержит следующие основные этапы:

1. С использованием навигационной информации идентифицируются как минимум два опорных объекта в сцене;
2. Для каждого опорного объекта строится его контурный препарат на EVS и SVS изображениях;
3. Вычисляется смещение центров масс соответствующих контуров на EVS и SVS изображениях;
4. Комбинированное изображение получается путем минимизации величины смещения центров масс соответствующих контуров на EVS и SVS изображениях.

Недостатки: 1) Отсутствие контурного соответствия EVS и SVS изображений;
2) Негативные визуальные эффекты
3) Вычислительные затраты

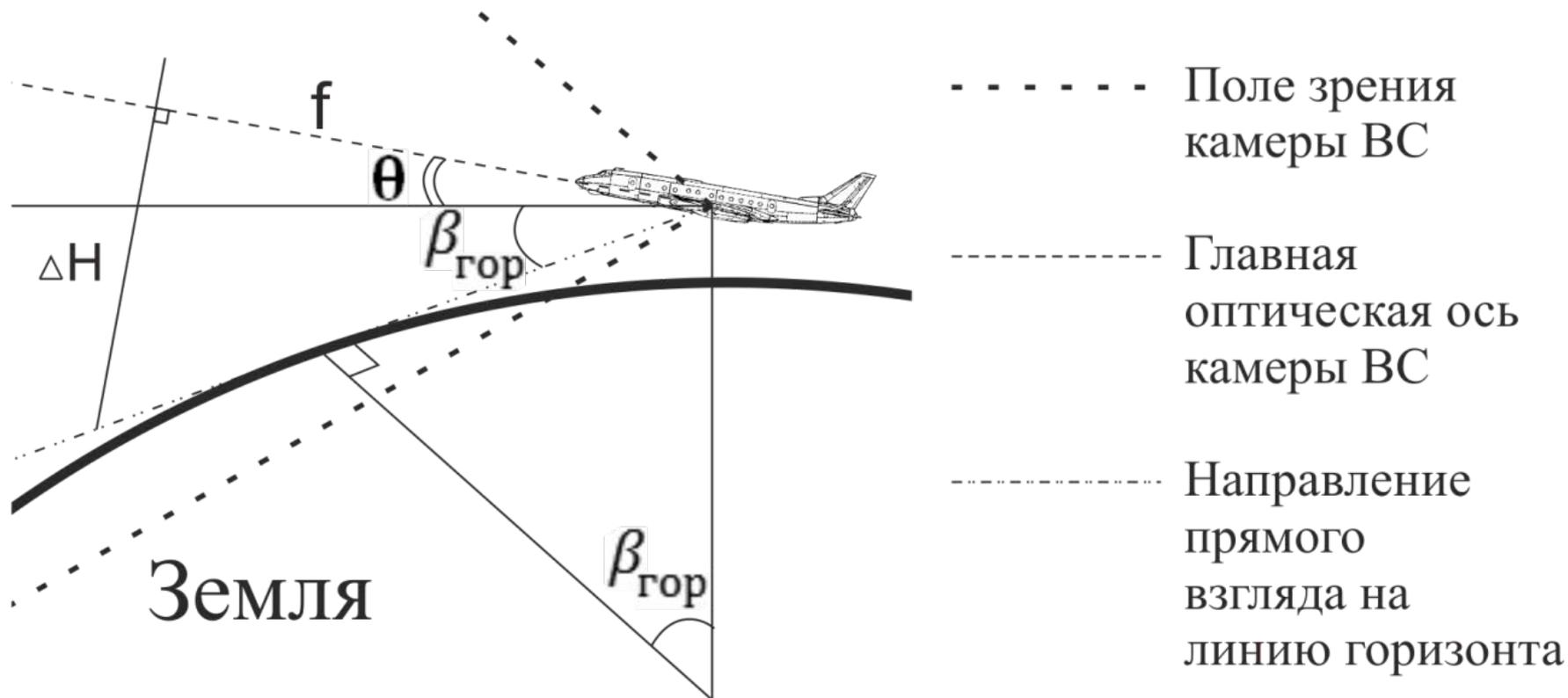
* Hamza R., Feyereisen T., 2011. Fusion of sensor data and synthetic data to form an integrated image, <http://www.google.com.ar/patents/US7925117> (April 12s, 2011).

Комбинированное видение на основе фотограмметрического подхода



* Комаров Д. В., Визильтер Ю. В., Выголов О. В., 2012 Автоматическое обнаружение взлетно-посадочной полосы на видеоизображениях для авиационной системы улучшенного видения // *Интеллектуализация обработки информации*: тр. конф. ИОИ-9. Черногория, г. Будва, 16 – 22 сентября 2012 г. Будва.

Аналитическое вычисление линии горизонта



Линия горизонта на изображении вычисляется по формуле:

$$y = -x \cdot \operatorname{tg}(\gamma) + f \cdot \operatorname{tg}(\theta + \beta_{\text{гор}}), \text{ где } \beta_{\text{гор}} = \arccos\left(\frac{R_{\text{зем}}}{R_{\text{зем}} + H_{\text{ВС}}}\right)$$

Первичная оценка положения точки схода на линии горизонта

Точка схода определяется как среднее значение между точками пересечения прямых, проходящих через боковые контуры ВПП, и вычисленной линии горизонта.

Пиксельные координаты точек ВПП на изображении вычисляются по формулам:

$$x_{pxl} = f \cdot \frac{Dx}{Dy} + b_x;$$

$$y_{pxl} = -f \cdot \frac{Dz}{Dy} + b_y,$$

где b_x , b_y – пиксельные координаты главной точки снимка;

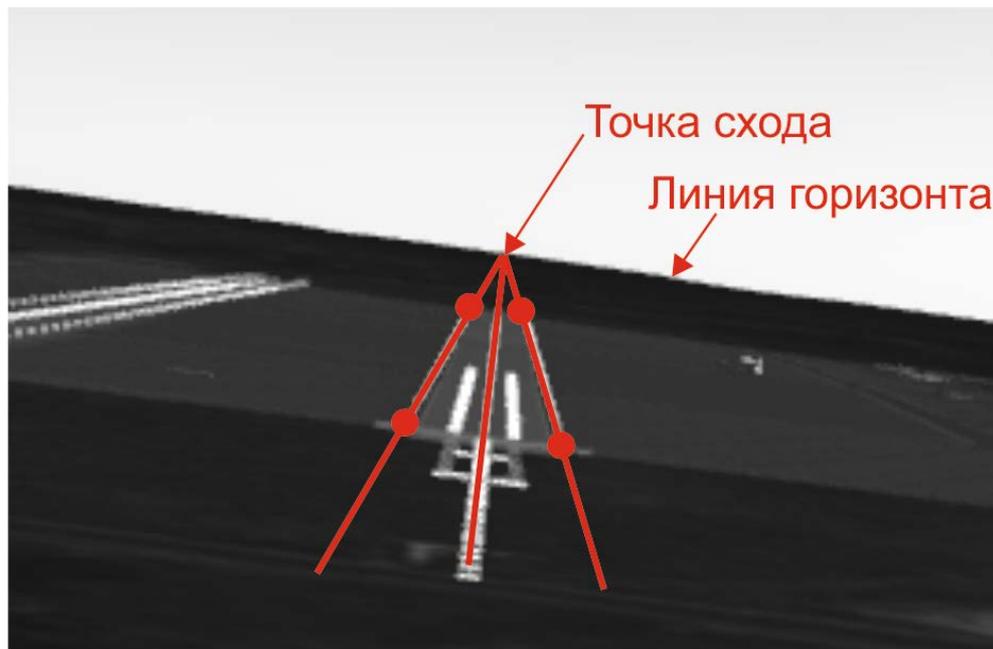
$$\begin{pmatrix} Dx \\ Dy \\ Dz \end{pmatrix} = A(\theta, \gamma, \psi) \cdot \begin{pmatrix} x_p - x_f \\ y_p - y_f \\ z_p - z_f \end{pmatrix},$$

где x_p , y_p , z_p – координаты опорной точки;

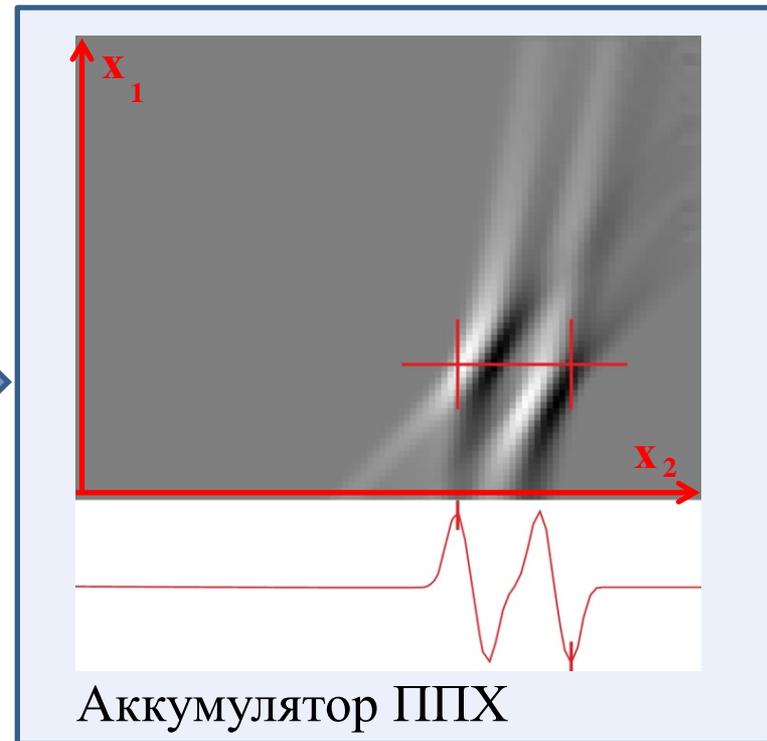
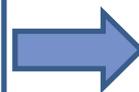
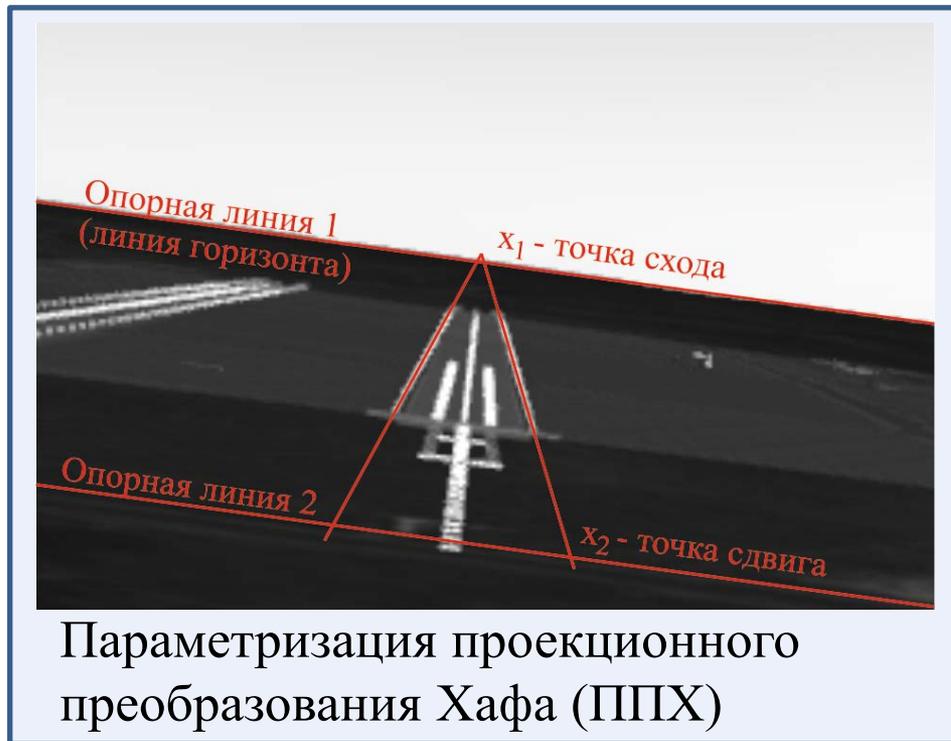
x_f , y_f , z_f – координаты ВС,

$A(\theta, \gamma, \psi)$ – матрица поворота:

$$\begin{pmatrix} \cos(\gamma) \cdot \cos(\psi) - \sin(\gamma) \cdot \sin(\psi) \cdot \sin(\theta) & \cos(\gamma) \cdot \sin(\psi) + \sin(\gamma) \cdot \cos(\psi) \cdot \sin(\theta) & -\sin(\gamma) \cdot \cos(\theta) \\ -\cos(\theta) \cdot \sin(\psi) & \cos(\theta) \cdot \cos(\psi) & \sin(\theta) \\ \sin(\gamma) \cdot \cos(\psi) + \cos(\gamma) \cdot \sin(\psi) \cdot \sin(\theta) & \sin(\gamma) \cdot \sin(\psi) - \cos(\gamma) \cdot \cos(\psi) \cdot \sin(\theta) & \cos(\gamma) \cdot \cos(\theta) \end{pmatrix}$$



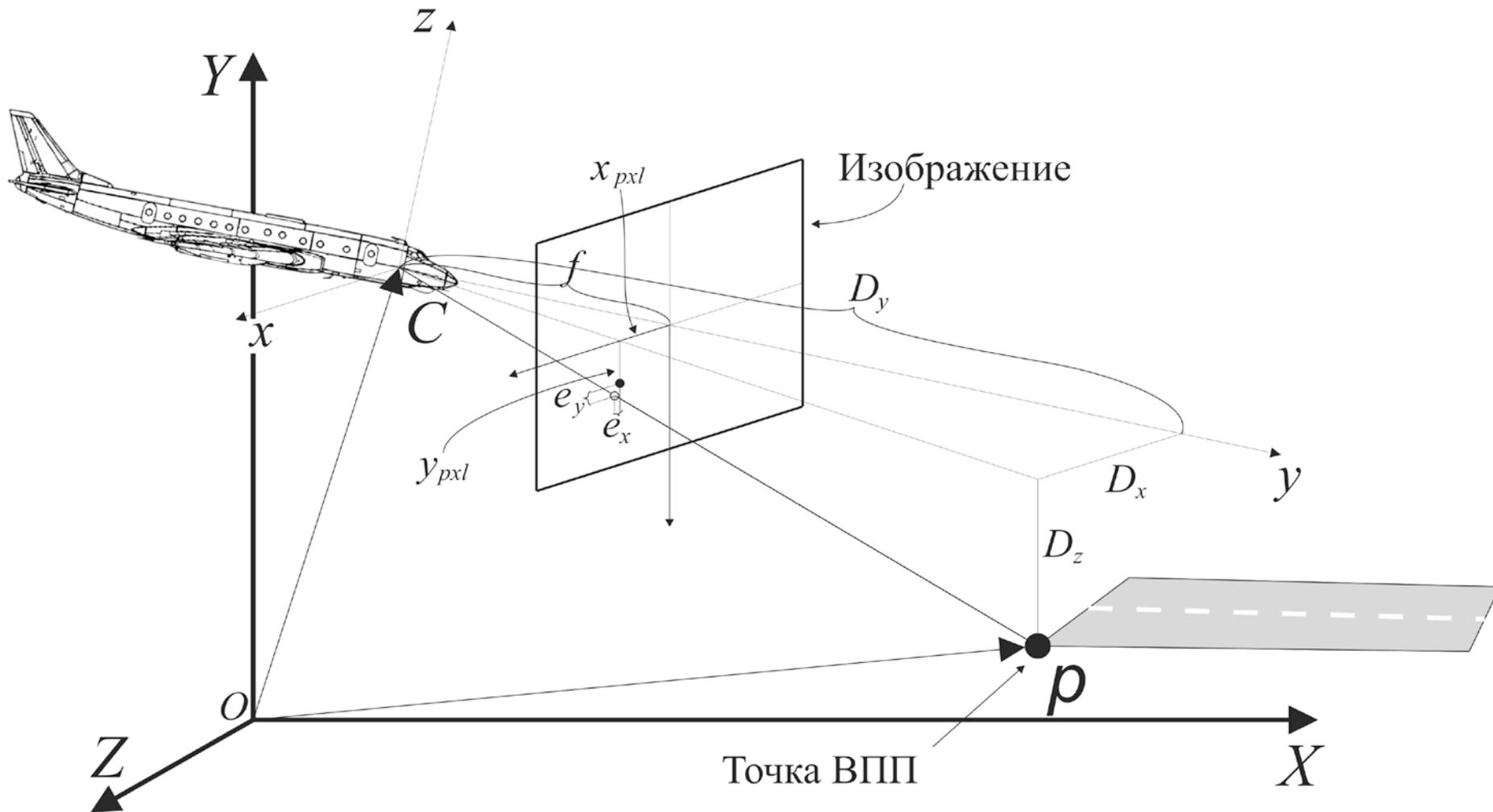
Поиск взлетно-посадочной полосы на изображении*



Симметричные локальные экстремумы максимальной амплитуды соответствуют левой и правой границам ВПП.

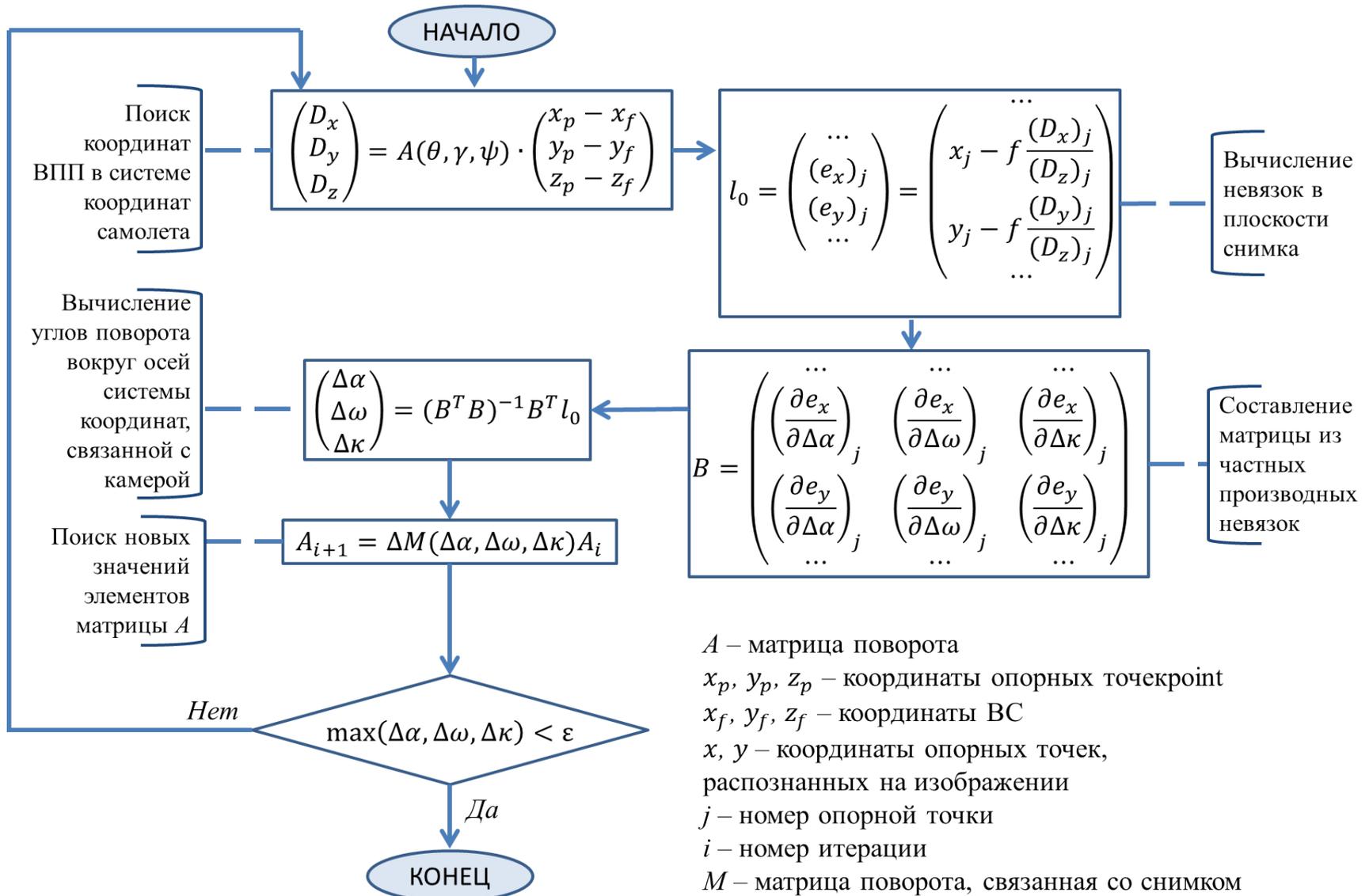
* Комаров Д. В., Визильтер Ю. В., Выголов О. В., 2012 Автоматическое обнаружение взлетно-посадочной полосы на видеоизображениях для авиационной системы улучшенного видения // *Интеллектуализация обработки информации*: тр. конф. ИОИ-9. Черногория, г. Будва, 16 – 22 сентября 2012 г. Будва.

Внешнее ориентирование камеры



* Лебедев М.А., Бондаренко М.А., Комаров Д.В., Степаньянц Д.Г., Выголов О.В., Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Алгоритм автоматического совмещения сенсорной и синтезируемой видеоинформации для авиационной системы комбинированного видения. Вестник компьютерных и информационных технологий, 2014, №7, стр. 8-13.

Процедура внешнего ориентирования



Анализ сходимости

ПНИ:

$$\psi = -270^\circ$$

$$\theta = -10^\circ$$

$$\gamma = -10^\circ$$

Погрешность:

$$\psi = 9.623^\circ$$

$$\theta = 5.57258^\circ$$

$$\gamma = 4.03086^\circ$$

Уточненное ПНИ:

$$\psi = -260.377^\circ$$

$$\theta = -4.42742^\circ$$

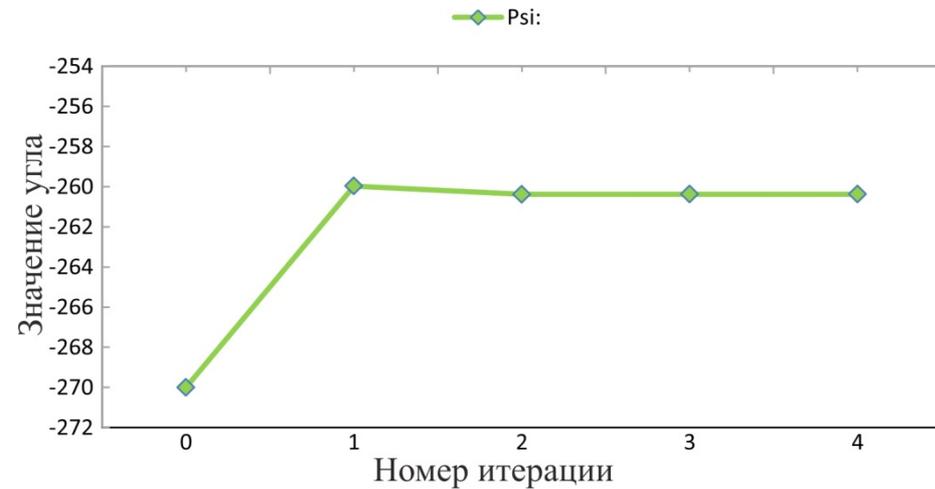
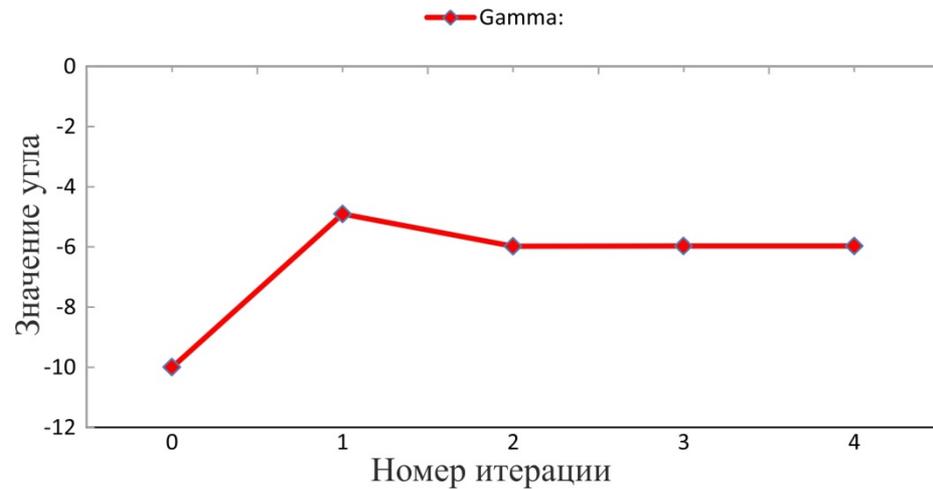
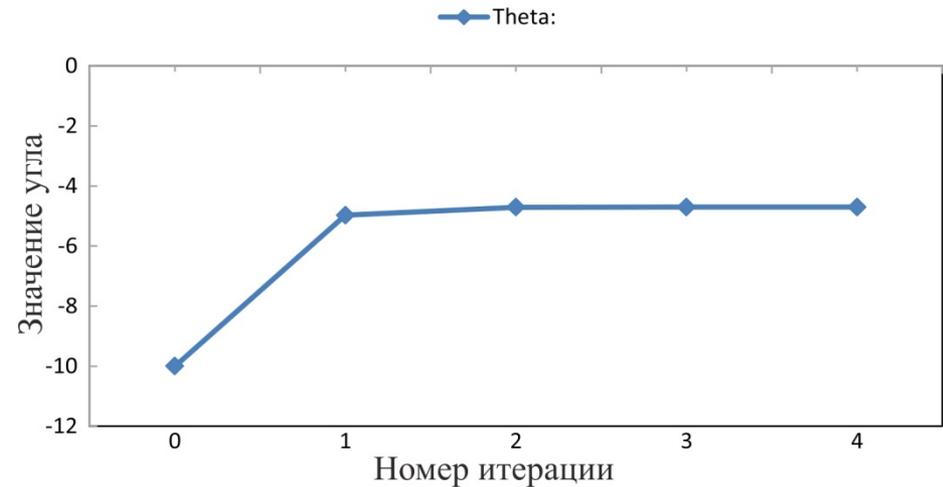
$$\gamma = -5.96914^\circ$$

Кол-во итераций:

4

Время работы:

Не более 0.01 мс



Вычислительная эффективность

Для 1000 расчетов	ExOr	ExOrNEW
Theta = 0° Gamma = 0° Psi = -265°	296,1	6,6
Theta = -10° Gamma = -10° Psi = -270°	279,21	6,71
Theta = -4,42084° Gamma = -5,94606° Psi = -270°	177,9	6,73
Theta = -4,42084° Gamma = -10° Psi = -260,106°	262,74	6,69
Theta = -10° Gamma = -5,91636° Psi = -260,106°	366,25	6,59

ПК:

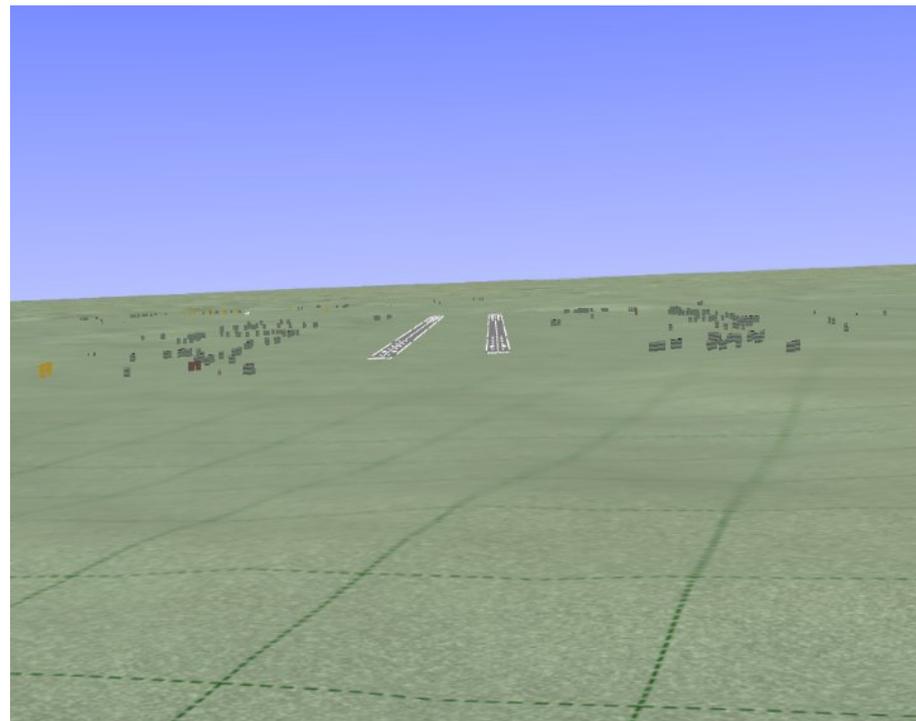
- MS Windows 7
- Процессор Intel(R) Core™ i5-3470 CPU @ 3.20 GHz;
- ОЗУ 8.00 ГБ.

Отработка алгоритма средствами компьютерного моделирования

Пример EVS и SVS изображений



EVS

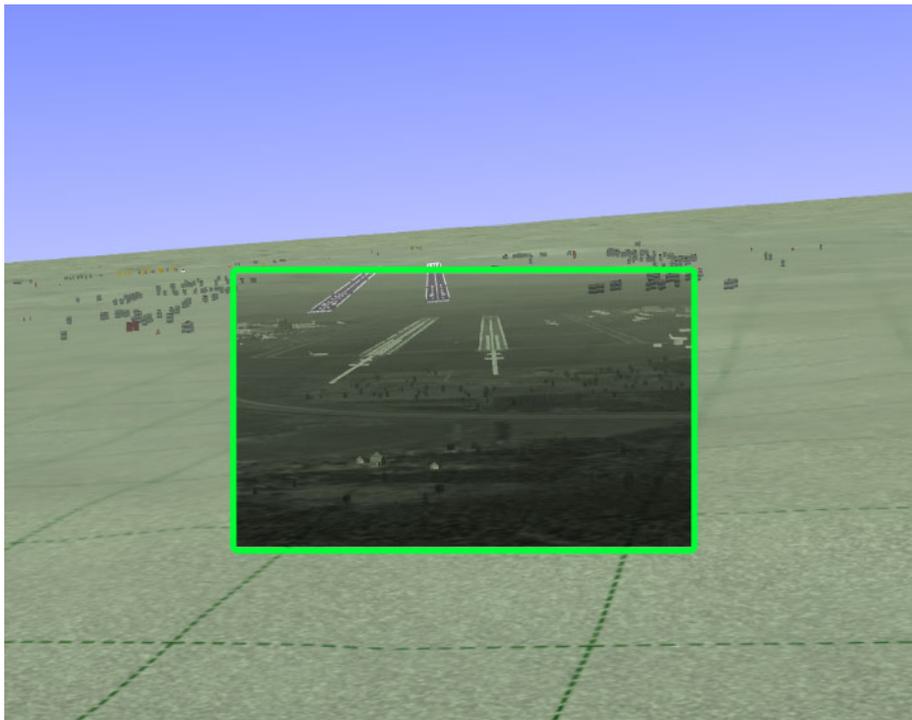


SVS

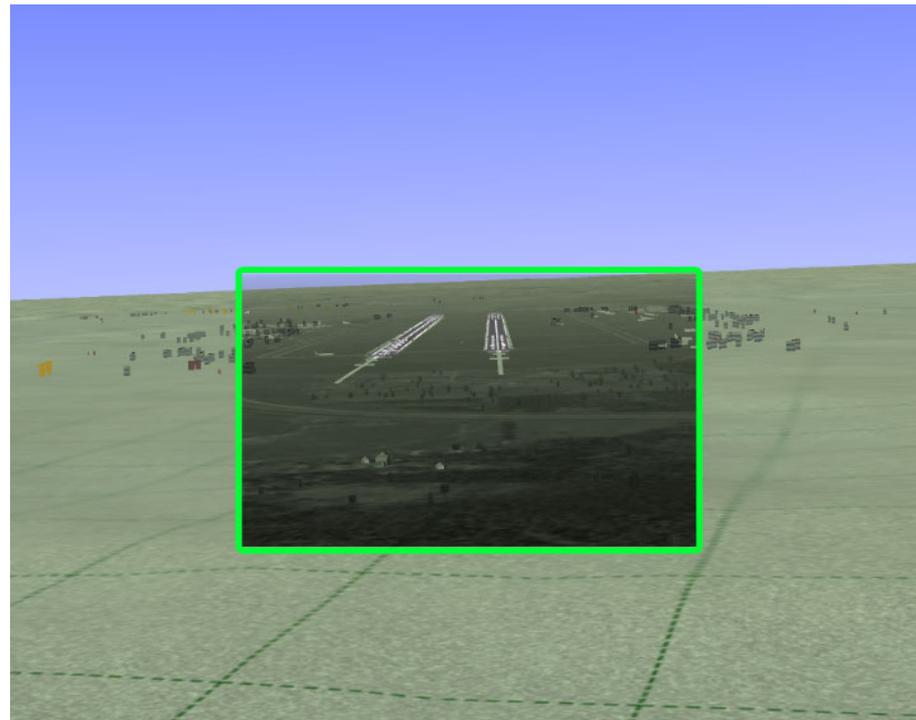
Погрешность: $\psi = +2^\circ$
 $\theta = +2^\circ$
 $\gamma = -2^\circ$

Отработка алгоритма средствами компьютерного моделирования

Пример совмещения EVS и SVS изображений



Без уточнения ПНИ

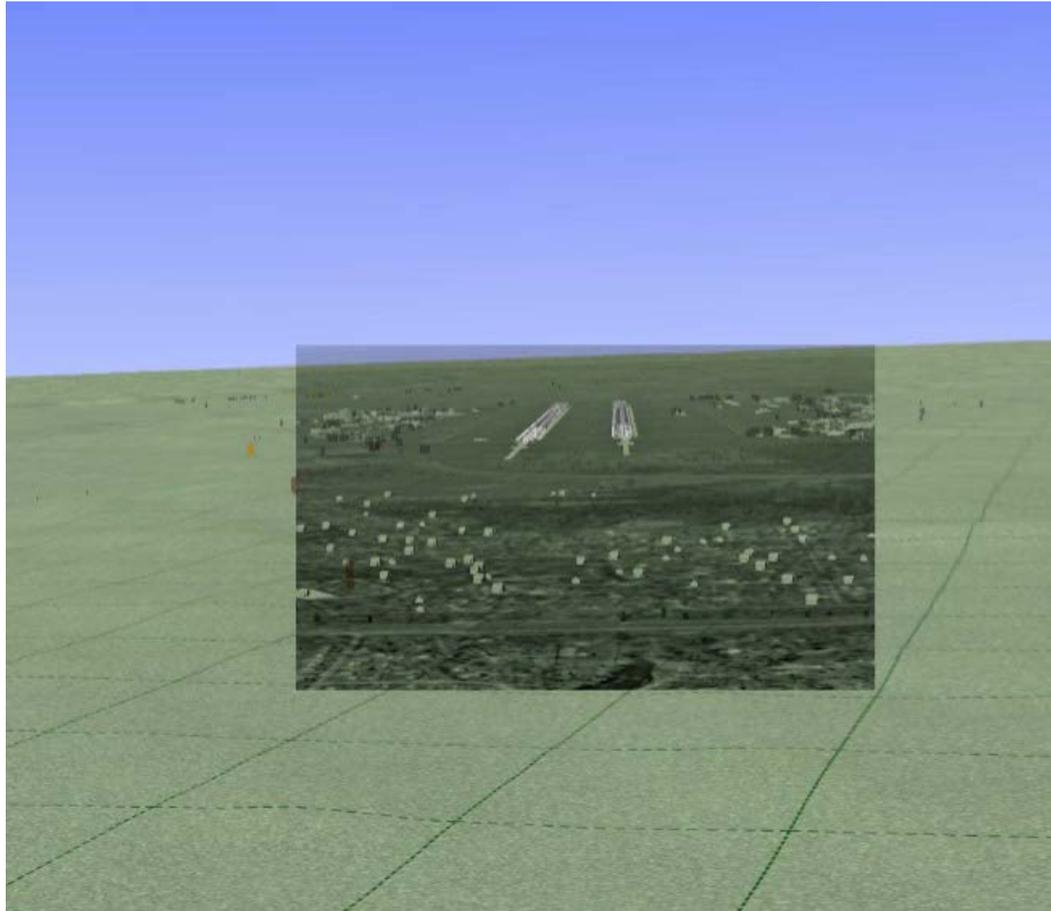


С уточнением ПНИ

Расхождение порядка 100
пикселей

Отработка алгоритма средствами компьютерного моделирования

Пример работы CVS алгоритма



Заключение

Разработанный алгоритм автоматического совмещения сенсорной и синтезируемой видеоинформации отличается следующими основными особенностями:

- для совмещения изображений осуществляется процедура внешнего ориентирования уточнения пилотажно-навигационной информации, которая основана на фотограмметрическом методе и требует только анализа сенсорного изображения;
- на этапе выделения характерных опорных точек взлетно-посадочной полосы используется проекционное преобразование Хафа, обеспечивающее высокое быстродействие;

Эксперименты на реальных данных подтвердили работоспособность предложенных алгоритмов.

Дальнейшие исследования

- Повышение точности алгоритма совмещения за счет использования в процедуре внешнего ориентирования большего набора опорных точек, получаемых путем автоматического обнаружения и идентификации не только ВПП, но и других типовых объектов аэродромной инфраструктуры.
- Отработка алгоритма на реальных летных видеопоследовательностях.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Lebedev_Maxim@list.ru

Лебедев Максим Алексеевич