

**РЕЛЬЕФОМЕТРИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ ВНЕШНЕЙ
КОРРЕКЦИИ В ИНЕРЦИАЛЬНОЙ
НАВИГАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ**

В. А. ГРИШИН

*Федеральное государственное унитарное предприятие
“Научно-производственный центр автоматики и
приборостроения имени академика Н. А. Пилюгина”*

Коррекция ошибок ИНС

- Радионавигационные системы (GPS, Глонас, Galileo и др.).
- Системы астрокоррекции.
- Навигация по геофизическим полям.
 - По изображениям местности (ориентиров) в различных диапазонах электромагнитных волн.
 - По профилю подстилающей местности (предметов).
 - Профиль местности измеряется лазерным дальномером.
 - Профиль местности восстанавливается по последовательности изображений.
 - Профиль местности измеряется радиодальномером.

3D реконструкция по последовательности изображений

- + Пассивная система (нет демаскирующих признаков функционирования).
- + Трудно создать маскирующие или имитирующие помехи.
- + Малые веса, габариты и энергопотребление. Низкая стоимость.
- Необходимость внешнего освещения.
- Влияние атмосферных условий (облака, туман, снег и др.)
- Необходимость мощного специализированного процессора.

Измерение профиля местности радиодальномером

- + Слабое влияние атмосферных условий (облака, туман, снег и др.)
- Активная система (функционирование системы легко обнаруживается).
- Легко создать маскирующие или имитирующие помехи.
- Веса, габариты и энергопотребление в значительной степени зависят от максимальной дальности, на которую рассчитан радиодальномер.
- Высокая стоимость.

Комплексирование информации от различных датчиков

Для создания высоконадежных навигационных систем, способных работать с высокой точностью в неблагоприятных условиях, включая преднамеренное противодействие, необходимо:

- Использование информации от датчиков, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн.
- Сочетание как активных, так и пассивных систем.
- Использование яркостной информации (в видимом, ИК и радиодиапазоне) для целей распознавания образов только в сочетании с информацией о трехмерной форме объекта.

Проблема: Накопление, хранение, постоянная актуализация огромных объемов картографической информации.

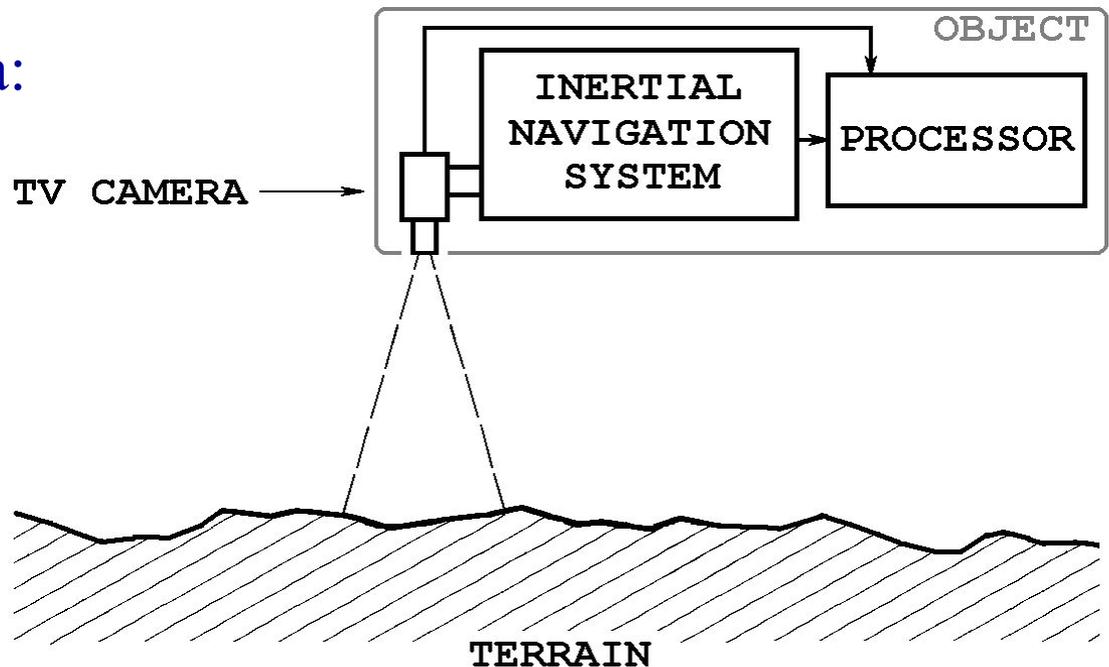
3D реконструкция по последовательности изображений

- Используется калиброванная телевизионная камера.
- ИНС используется для высокоточного определения пространственного положения и угловой ориентации калиброванной телевизионной камеры во время маневров изделия.
- Информация о пространственном положении и угловой ориентации телевизионной камеры используется для трехмерной реконструкции профиля местности.

3D реконструкция по последовательности изображений

Телевизионная камера
может быть установлена:

- на гиropлатформе;
- на высокоточной позиционирующей системе.



Ограничения по габаритным размерам обуславливают необходимость использования продольного стереобазиса..

Моделирование

Оценивалось влияние следующих факторов:

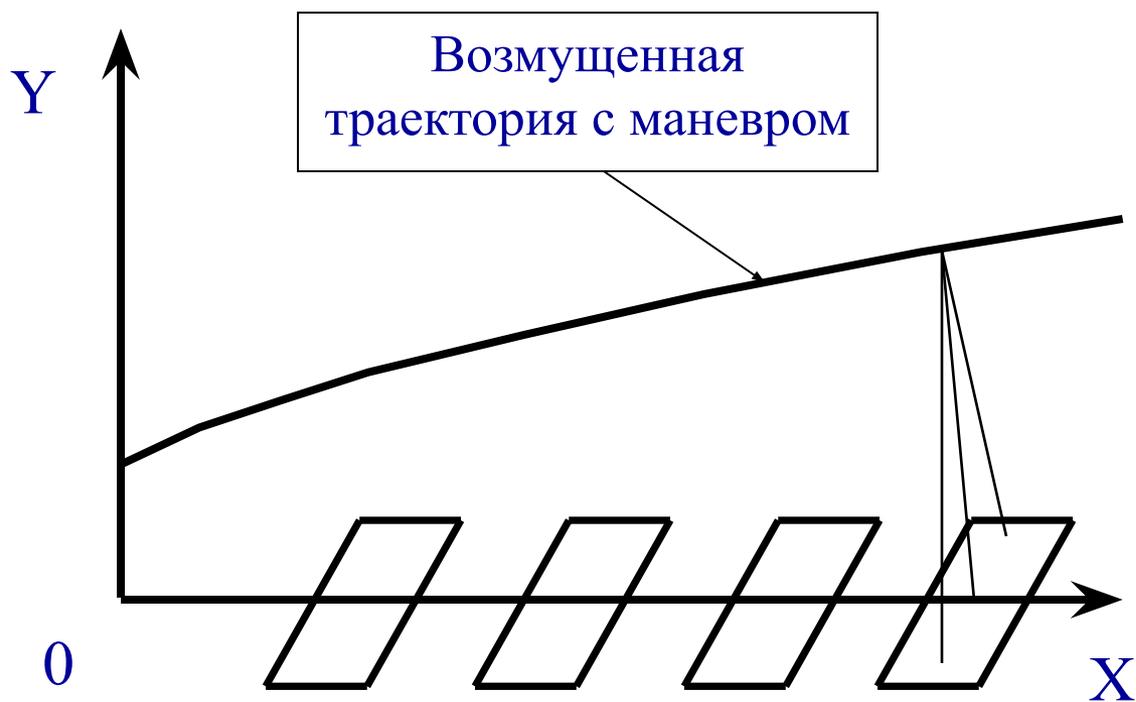
- ошибки счисления текущих координат ИНС;
- ошибки, связанные с дрейфом осей ИНС;
- ошибки позиционирования телевизионной камеры относительно ИНС;
- угловые ошибки по полю изображения телевизионной камеры (дисторсия);
- ошибки, порождаемые ограниченным угловым разрешением камеры и объектива.

Результаты моделирования

- Оптический датчик: Количество пикселей 512*512. Угол зрения в горизонтальной и вертикальной плоскостях равен соответственно 53° и 45°.
- Ошибки 3-D реконструкции оценивались для следующих режимов полета:
 1. Высота полета 100 км, скорость -7,854 км/с.
 2. Высота полета 10 км, скорость - 0.7 км/с.
 3. Высота полета 1 км, скорость - 0,33 км/с.

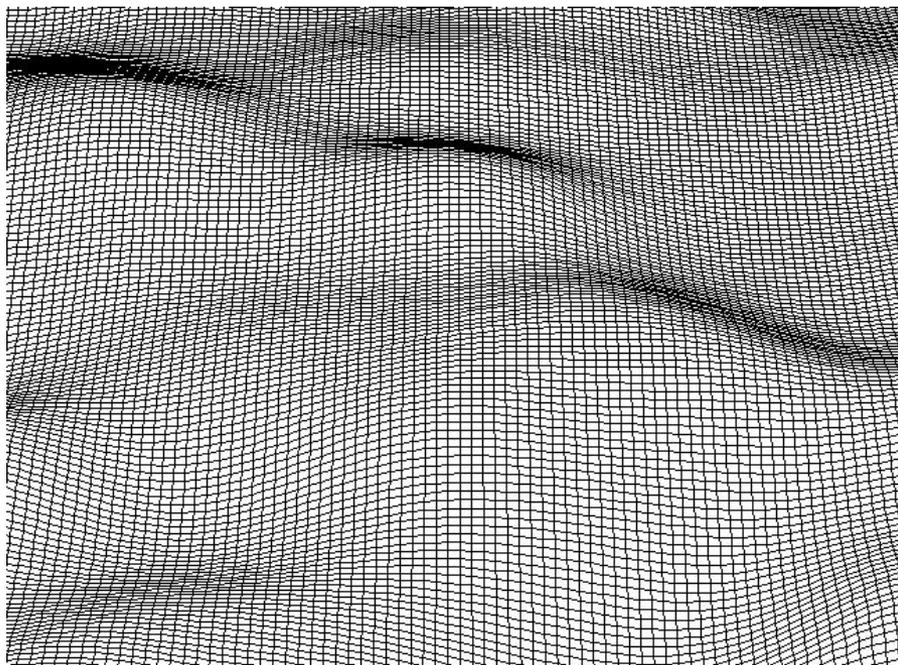
Mode of flight	X [m]	Y [m]	Z [m]
1	84,56	51,75	105,04
2	15,47	5,66	10,98
3	1,07	0,54	0,98

Радиодальнометрическая система

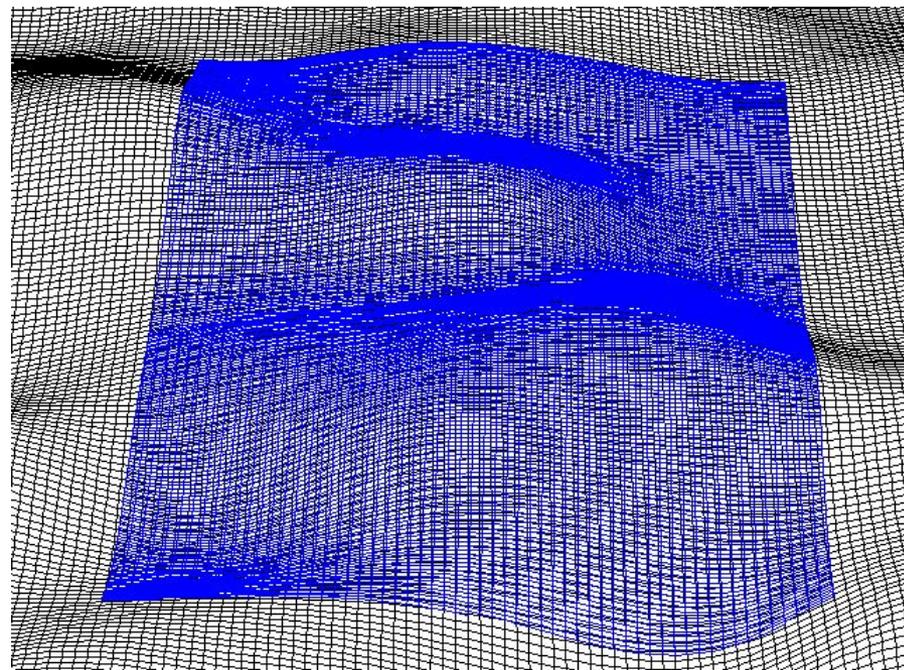


Результаты моделирования

Синтезированный
профиль местности.

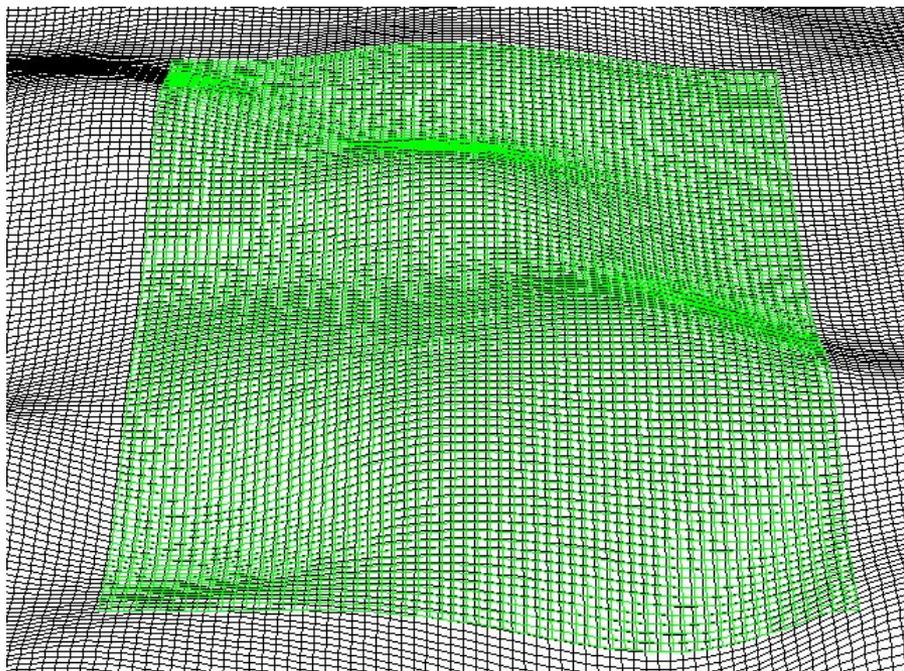


Отсканированное «гребенкой»
лучей изображение профиля
местности.

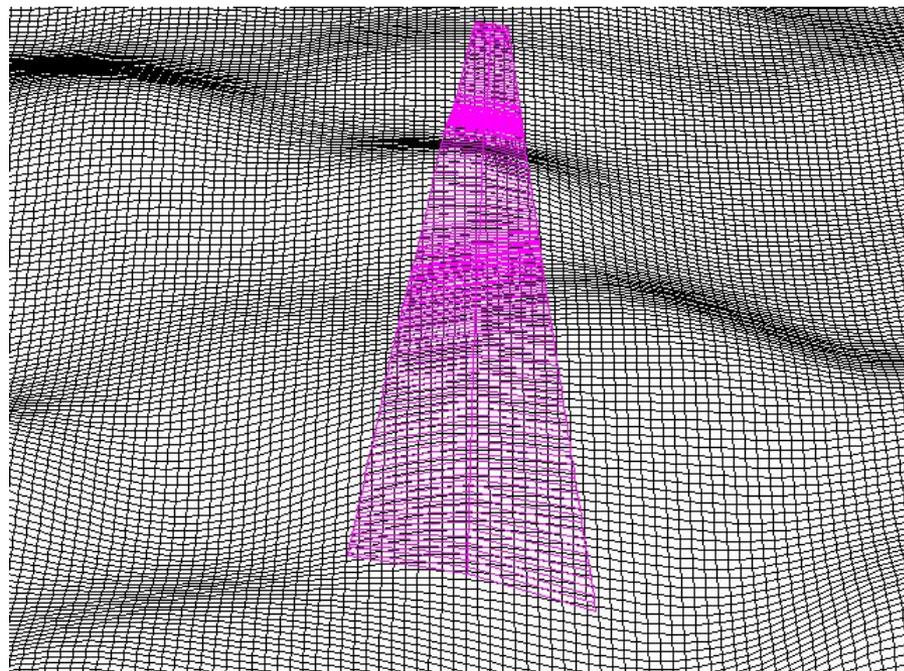


Результаты моделирования

Эталон, пересчитанный к
равномерной сетке точек
дискретизации.



Профиль поверхности,
измеренный с объекта.



Результаты моделирования

Полет с маневрированием.

№ участка местности	Начальная высота визирования							
	9 км		7 км		5 км		3 км	
1	0.0	12.4	0.0	10.2	0.0	4.7	-4.0	0.0
	-0.1	0.9	0.0	2.5	-0.5	0.7	-0.9	0.2
	-12.8	3.3	-7.5	0.7	0.0	14.1	0.0	8.1
2	-13.4	9.2	-7.4	24.7	-4.3	14.5	-6.5	3.2
	-0.1	1.7	0.0	1.5	-0.6	1.1	-1.1	0.0
	-17.9	10.3	-7.8	15.9	-3.4	8.3	0.0	9.7
3	-4.5	6.1	-2.6	2.5	-0.9	8.6	-3.2	2.9
	-0.2	1.6	0.0	1.6	0.0	1.1	-0.8	0.2
	-8.0	34.0	-2.8	10.3	-2.2	8.9	-5.7	2.0

Синтез эталона

Методическая ошибка радиодальнометрических систем.

- Ошибка зависит от расстояния до поверхности, ее ориентации относительно оси диаграммы направленности антенны радиодальномера и других факторов.
- Ошибки обусловлены тем, что принимаемый сигнал формируется в результате интегрирования отражения по всему пятну засветки.

Один из путей уменьшения степени влияния этой погрешности - учет погрешности при синтезе эталонного изображения (профиля) местности.

Показано, что при некоторых ограничениях на маневр объекта получается вполне удовлетворительный результат.

Информационный фильтр

- Выбор размеров и положения участка коррекции, приемлемого с учетом ограничений на траекторию движения объекта.
- Определение точностных характеристик процесса привязки к подстилающей местности (систематических и случайных ошибок) путем имитационного моделирования.
- Определение вероятности аномальных ошибок привязки (определение степени “надежности” процесса привязки).

Возмущающие факторы, порождающие аномальные ошибки:

- Неучтенные погрешности, возмущения.
- Ошибки цифровой карты, используемой для синтеза эталона.
- Преднамеренные помехи и др.

Аномальные ошибки привязки

Возмущающие факторы

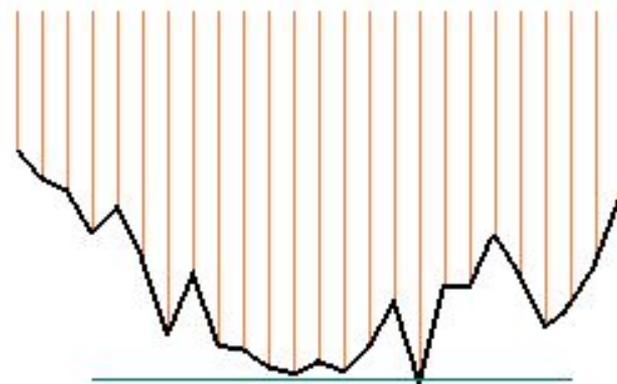
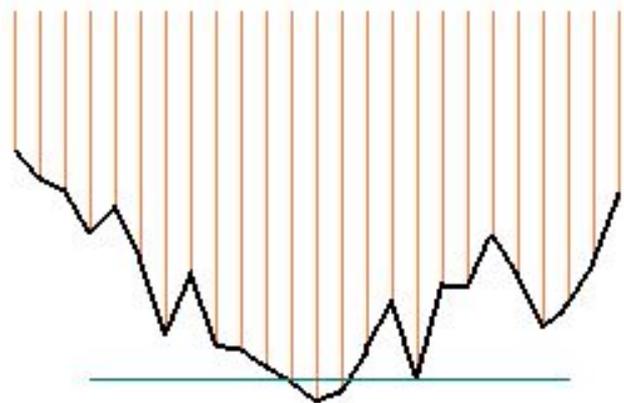
Перестройка структуры целевой функции

Паразитные локальные экстремумы целевой функции становятся сравнимыми по величине с глобальным экстремумом, соответствующим истинному положению объекта

Создаются предпосылки для появления грубых (аномальных) ошибок определения положения объекта

Аномальные ошибки привязки

Сечение целевой функции по одной координате



Глобальный
экстремум

Заключение

Системы внешней коррекции будут находить все более широкое применение не только в решении задач навигации КА, но и в навигации любых мобильных объектов (самолеты, вертолеты, мобильные роботы и др.).

Это обусловлено быстрым прогрессом в создании малогабаритных датчиков, работающих в оптическом, ИК и радиодиапазоне, а также стремительным увеличением вычислительной мощности процессоров.

Особенно перспективно применение подобных систем внешней коррекции в системах управления высокого уровня, реализующих концепции автономного искусственного интеллекта.