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.

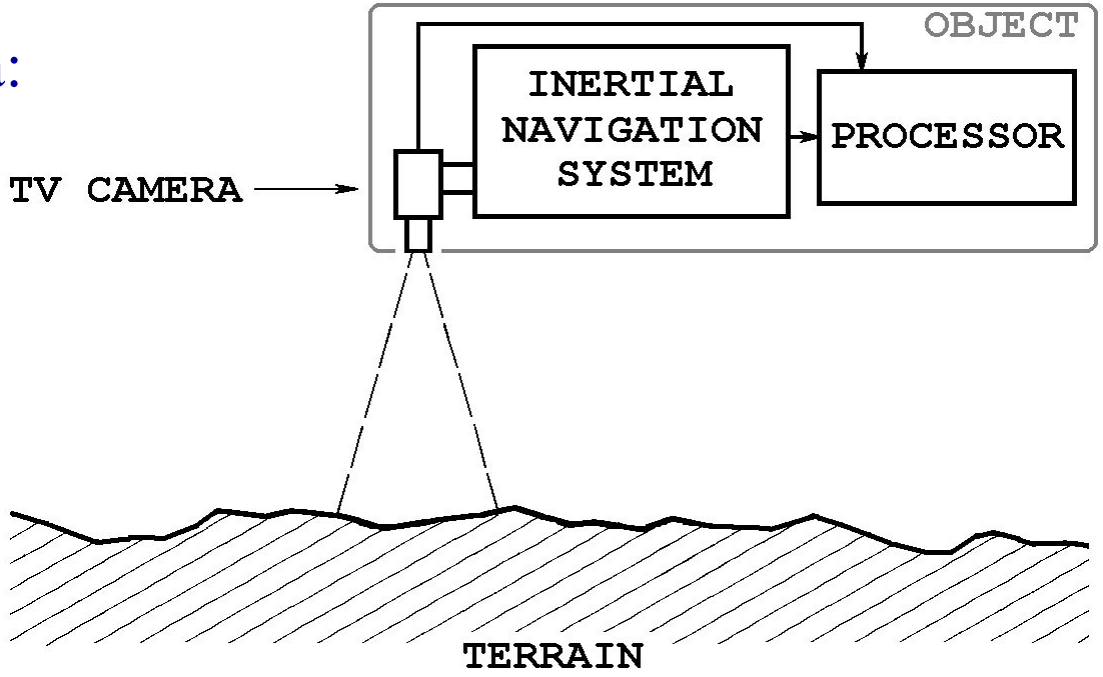
3D реконструкция по последовательности изображений

- 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 гироплатформе;
- на высокоточной позиционирующей системе.



Ограничения по габаритным размерам обуславливают необходимость использования продольного стереобазиса..

Моделирование

Оценивалось влияние следующих факторов:

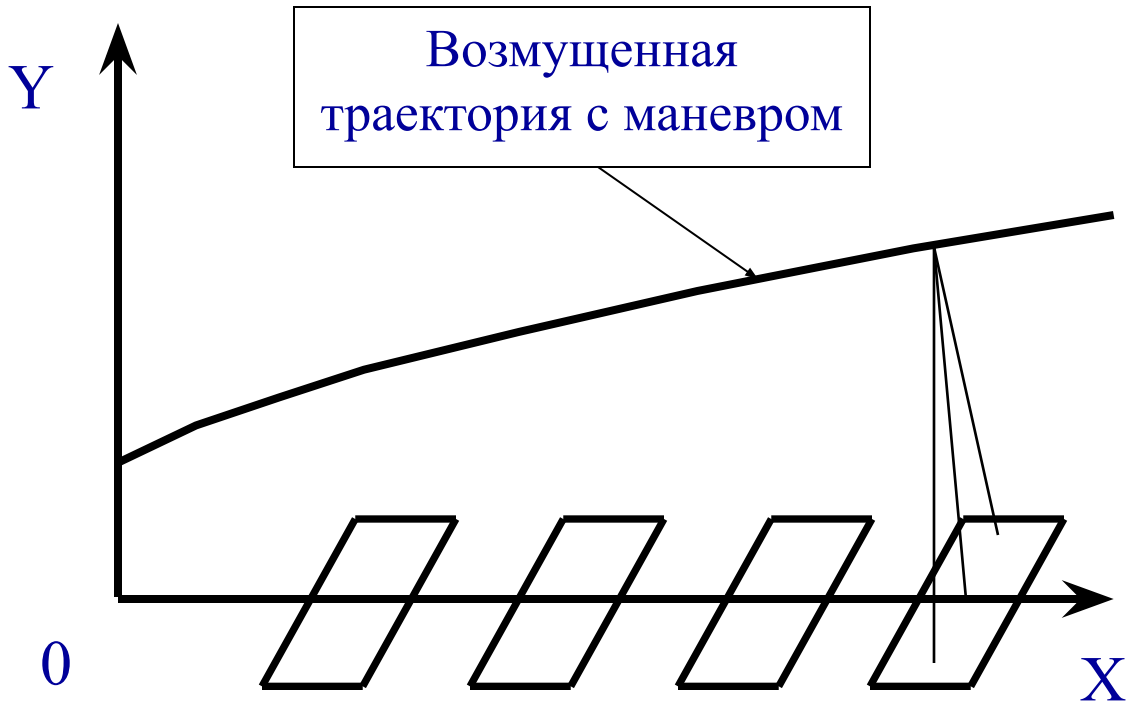
- ошибки счисления текущих координат ИНС;
- ошибки, связанные с дрейфом осей ИНС;
- ошибки позиционирования телевизионной камеры относительно ИНС;
- угловые ошибки по полю изображения телевизионной камеры (дисторсия);
- ошибки, порождаемые ограниченным угловым разрешением камеры и объектива.

Результаты моделирования

- Оптический датчик: Количество пикселов 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

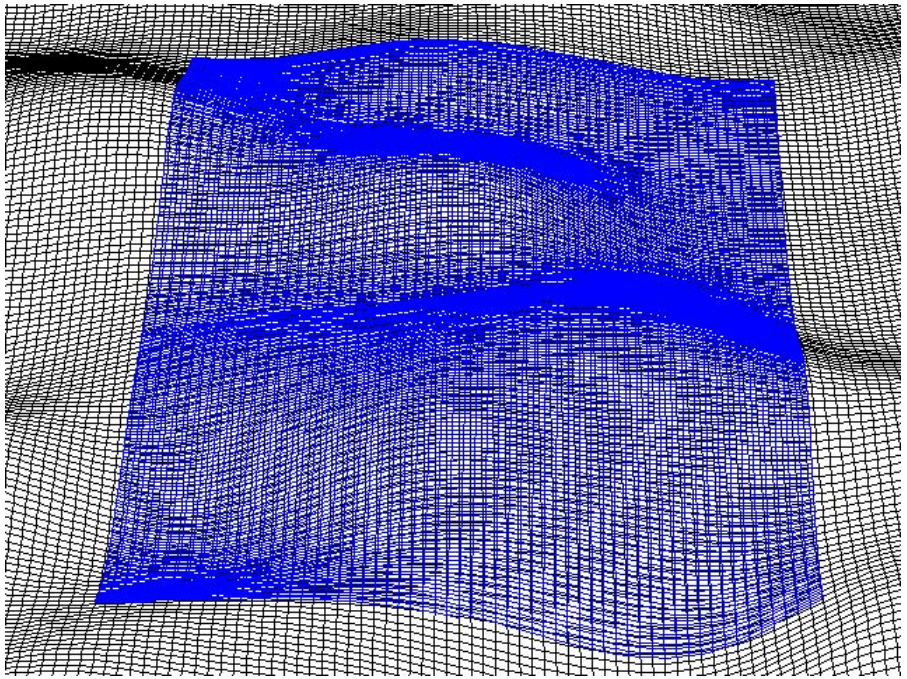
Радиодальнометрическая система



Результаты моделирования

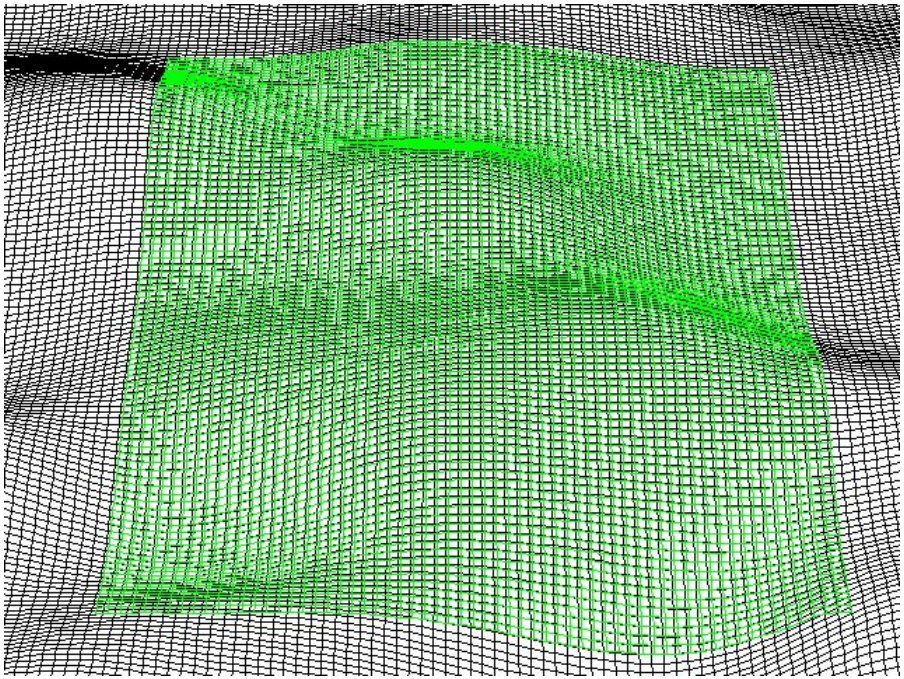
Синтезированный профиль местности.

Отсканированное «гребенкой» лучей изображение профиля местности.

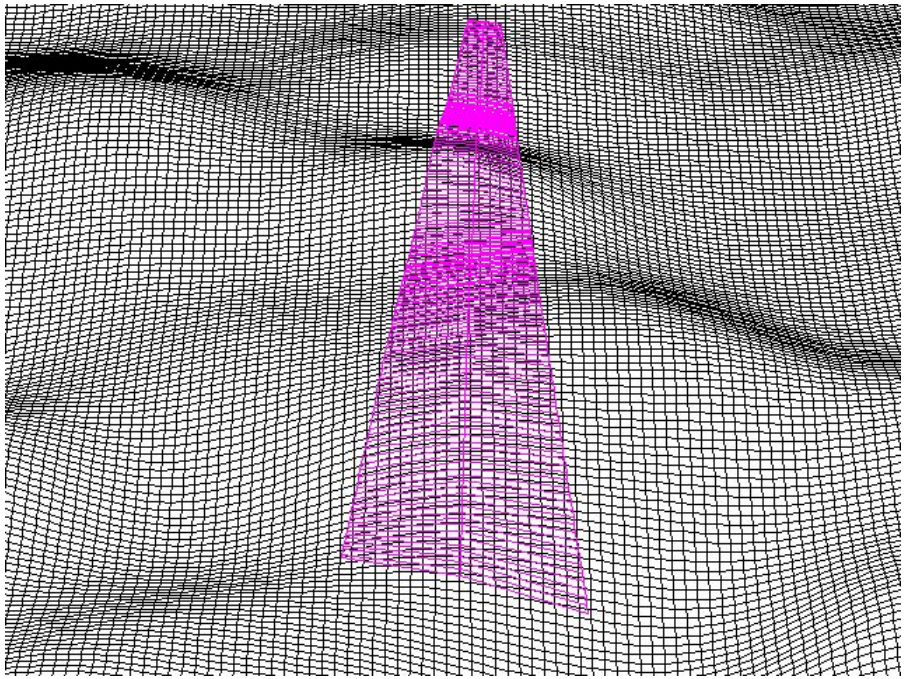


Результаты моделирования

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

↓

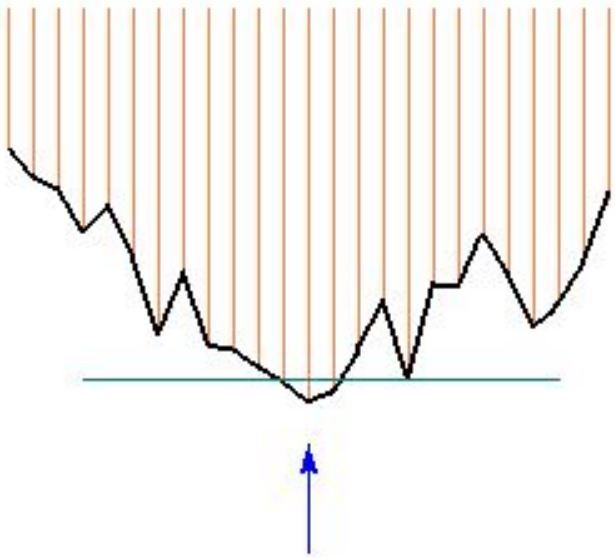
Паразитные локальные экстремумы целевой функции становятся сравнимыми по величине с глобальным экстремумом, соответствующим истинному положению объекта

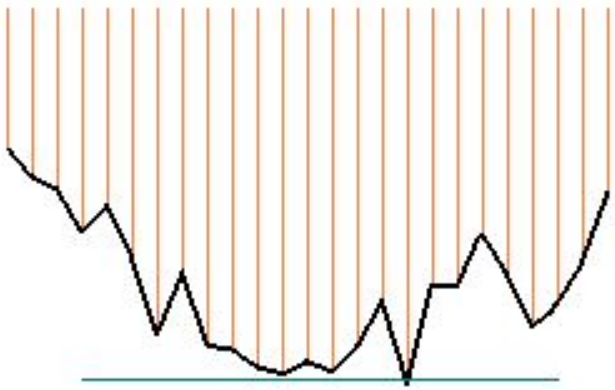
↓

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

Аномальные ошибки привязки

Сечение целевой функции по одно й 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.