Анализ влияния динамики космического аппарата на характеристики алгоритмов обработки изображений системы технического зрения проекта "Фобос-Грунт"

Гришин В. А. Институт космических исследований РАН

Общее описание проекта

Задачи проекта:

- 1. Полет до Марса.
- 2. Детальная съемка поверхности Фобоса.
- 3. Уточнение места посадки.
- 4. Выполнение посадки.
- 5. Взятие проб с поверхности.
- 6. Проведение ряда исследований.
- 7. Старт и возвращение проб на Землю.

Телевизионная система навигации и наблюдения (TCHH)

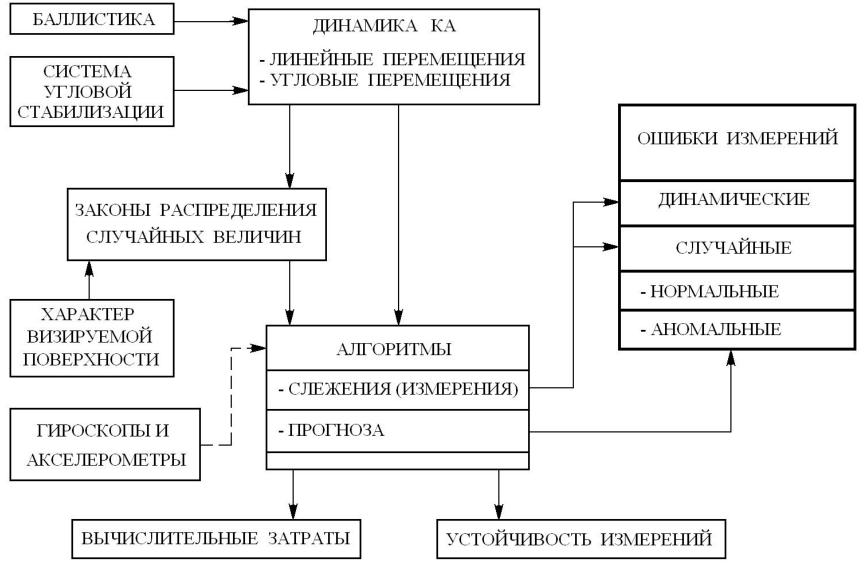
Состав ТСНН.

- 1. Две узкоугольные телевизионные камеры (f=500 mm)
- 2. Две широкоугольные телевизионные камеры (f=18 mm)

Функции ТСНН.

- 1. Проведение съемки Марса и Фобоса.
- 2. Ведение съемки в процессе посадки.
 - Съемка высокого разрешения (1000×1000).
 - Репортажная съемка (250×250).
- 3. Информационная поддержка процесса посадки.
 - Выбор места посадки.
 - Измерение высоты.
 - Измерение относительной скорости.

Влияние динамики КА на процесс измерений.



Исходные данные для моделирования

Баллистическая информация.

- 1. Вариант схода с КСО с упреждением прохождения траверза точки посадки (ttp-h.txt) ИПМ им. М. В. Келдыша;
- 2. Вариант схода с КСО при прохождении траверза точки посадки (ttp-v.txt) ИПМ им. М. В. Келдыша;
- 3. Сценарий посадки НПО им. С. А. Лавочкина ("быстрый вариант").

Координаты точки посадки: 5° с.ш., 235° долготы.

Модели поверхности Фобоса:

- 1. Трехосный эллипсоид с осями 13.0, 11.4 и 9.2 км.
- 2. Модель ГЕОХИ поверхности Фобоса с шагом 2° на 2°. Для моделирования использовались алгоритмы, заложенные в ТСНН.

Сценарии ИПМ им. М. В. Келдыша

- 1. Сход с КСО
- 2. Перелет с КСО в точку, расположенную над районом посадки (прицельную точку). h≤10 км. ∆t≈30 мин.
- 3. Вертикальный спуск на большой скорости.
- 4. Прецизионное торможение h≤1000 м. $V_{\text{верт}}$ ≤1.5-2 м/c, $V_{\text{бок}}$ ≤1 м/c.

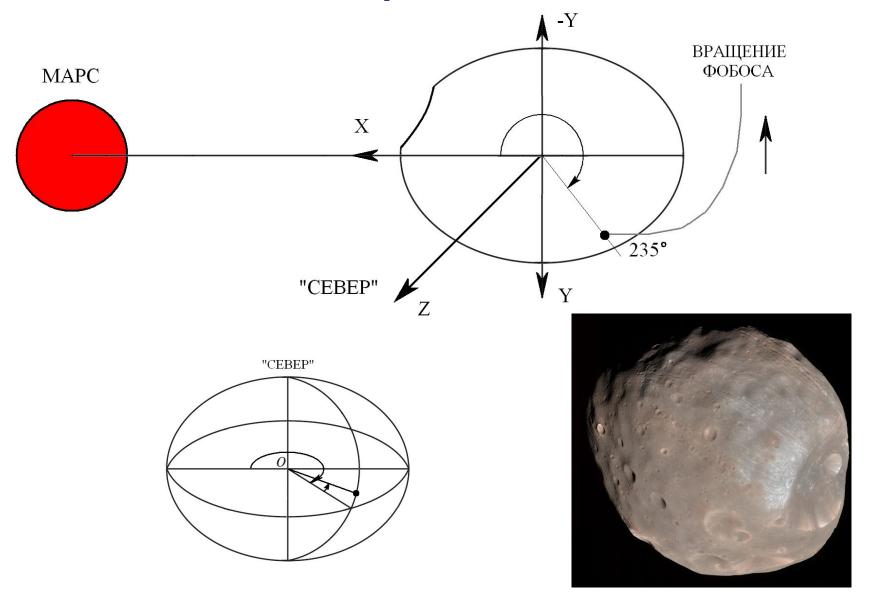
Особенность: В процессе посадки происходит совмещение средней нормали к поверхности с осью X аппарата, что порождает интенсивные угловые колебания КА с большими угловыми скоростями. ⇒ Возмущение канала измерения дальности за счет вариаций наклонной дальности и особенно — возмущение монокулярного канала измерений.

Сценарий НПО им. С. А. Лавочкина

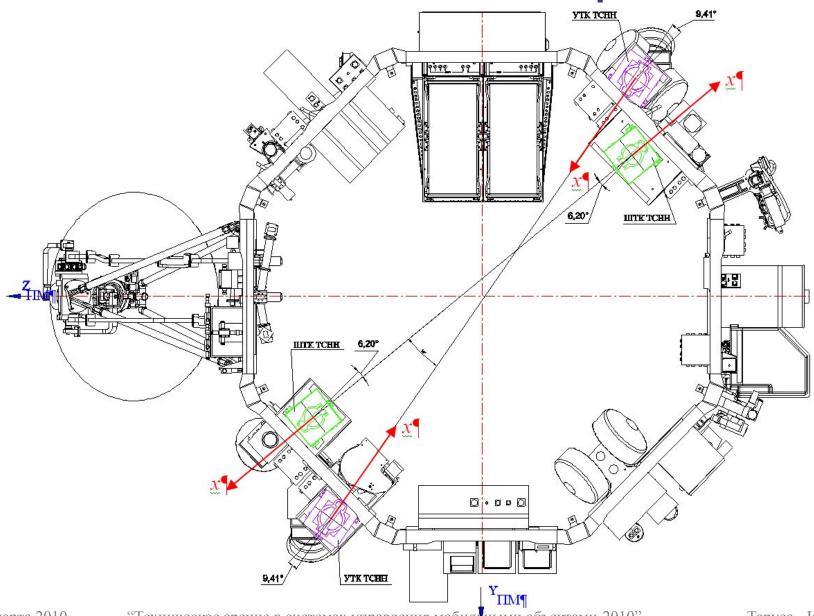
импульс схода с КСО прикладывается на высоте	23.2 км
продолжительность снижения от момента завершения импульса схода с КСО до номинального момента включения тормозного импульса	32.4 мин
продолжительность тормозного импульса	71.5 сек
высота на момент начала торможения	691 м
вертикальная скорость на момент начала торможения	13.8 м/сек
боковая скорость на момент начала торможения	2.2 м/сек
высота на момент завершения торможения	200 м
продолжительность падения КА от момента завершения тормозного импульса до контакта с поверхностью	272 сек
вертикальная скорость на момент контакта с поверхностью	1.44 м/сек
боковая скорость на момент контакта с поверхностью	0.34 м/сек

Особенность: Процесс посадки выполняется в инерциальном пространстве, что исключает интенсивные угловые колебания КА. ⇒ Создаются благоприятные условия для работы СТЗ.

Системы координат Фобоса



Расположение камер на КА



Стереорежим

Высота и её оценки Coarse и Precise

Диспарантность на изображении 250*250

Вертикальная скорость и ее оценка на последних 48.6 метрах.

Стереорежим

Прогнозируемые границы диспарантностей (смещены относительно текущей диспарантности)

Расширенные границы области поиска соответствия.

Стереорежим. Влияние разброса диспарантности 0.05

Сценарий НПО им. C. А. Лавочкина

Высота и её оценки Coarse и Precise

Вертикальная скорость и ее оценка на последних 48.6 метрах.

Прогнозируемые границы диспарантностей (смещены относительно текущей диспарантности)

)10"

Таруса - ИКИ

Стереорежим. Влияние разброса диспарантности 0.1

Высота и её оценки Coarse и Precise

Вертикальная скорость и ее оценка на последних 48.6 метрах.

Прогнозируемые границы диспарантностей (смещены относительно текущей диспарантности)

10"

Таруса - ИКИ

Стереорежим

Допустим, диспарантность равна 25 пикселям. Н=48.6 м.

Разброс по диспарантности 0.05 дает разброс по дальности 46.3-51.1 м. на площадке размером 20×10 м.

Разброс по диспарантности $0.1 \Rightarrow$ разброс по дальности 44.2-54 м. на площадке размером 20×10 м.

Оптимизация параметров алгоритмов:

- 1. Прогноз области поиска соответствия в режиме слежения
- 2. Прогноз области поиска соответствия в режиме сбоя

Учет: Текущие оценки, дисперсию измерений дальности, дискретность измерения диспарантности, флюктуации оценок скорости, коррекцию приращений на малых дальностях

Монокулярный режим

Высота и расстояния до поверхности

Изменения координат и расстояния до поверхности за цикл обработки

Изменения углов ориентации и коэффициента масштабирования изображения

Монокулярный режим

Величина ошибки прогноза вектора перемещения точки в поле зрения и график режимов работы алгоритма

Компоненты векторов перемещения точки поле зрения (на изображении 62*62).

Прогноз

$$\overset{\bowtie}{S}_{p\ i+1} = W_0 \overset{\bowtie}{S}_{p\ i} + W_1 \Delta \overset{\bowtie}{X}_i$$
 Простейший рекурсивный фильтр. Ошибка прогноза нарастающим итогом (55 измерений).

Сценарий ttp-h.txt		Сценарий ttp-v.txt.			
w0	w1	Суммарная ошибка прогноза	w0	w1	Суммарная ошибка прогноза
1	0	309	1	0	247
0.7	0.3	280	0.7	0.3	217
0.4	0.6	274	0.4	0.6	216
0.1	0.9	282	0.1	0.9	215
0	1	287	0	1	217

По сценарию НПО им. С. А. Лавочкина ошибка прогноза в 203 раза меньше (при 87 измерениях)

Зависимость оптимальных параметров алгоритмов от сценария посадки

Выводы

- 1. Динамика КА влияет самым непосредственным образом на ошибки измерений (динамические и случайные нормальные).
- 2. Динамика КА влияет опосредованно на ошибки измерений через профиль визируемой поверхности.
- 3. Динамика КА оказывает определяющее влияние на алгоритмы прогноза, используемые для формирования областей поиска соответствия; от этого зависит интенсивность потока аномальных ошибок.
- 4. Алгоритмы обработки информации должны учитывать динамику КА для повышения точности и устойчивости измерений.
- 5. Особенно это важно в случае, когда нет запасов по вычислительной мощности процессоров, используемых для обработки видеоинформации.