

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 (ТСНН)

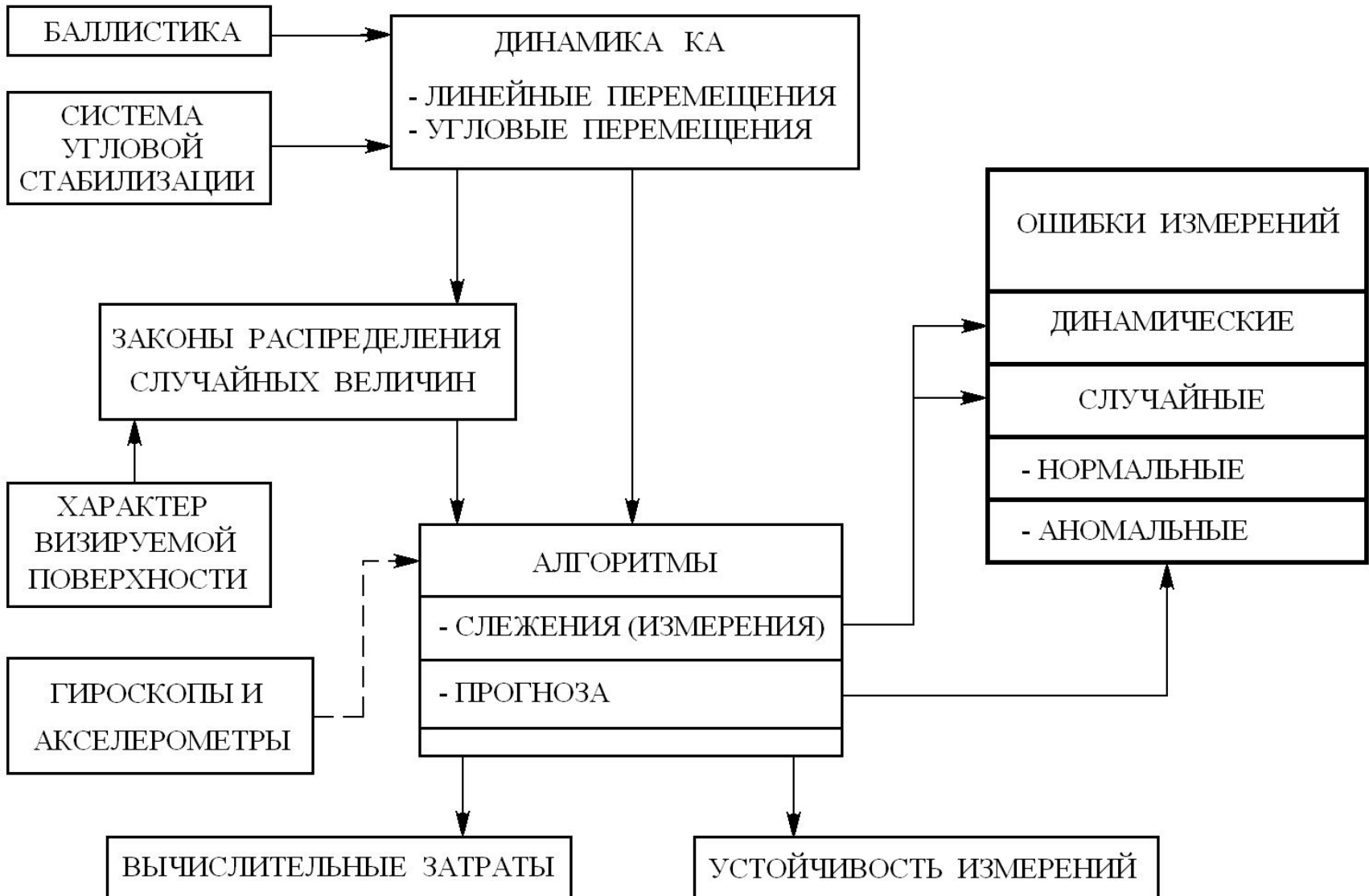
Состав ТСНН.

1. Две узкоугольные телевизионные камеры ($f=500 \text{ mm}$)
2. Две широкоугольные телевизионные камеры ($f=18 \text{ mm}$)

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). $h \leq 10$ км. $\Delta t \approx 30$ мин.
3. Вертикальный спуск на большой скорости.
4. Прецизионное торможение $h \leq 1000$ м. $V_{\text{верт}} \leq 1.5-2$ м/с, $V_{\text{бок}} \leq 1$ м/с.

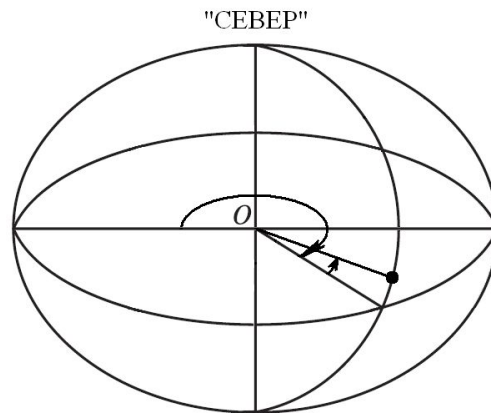
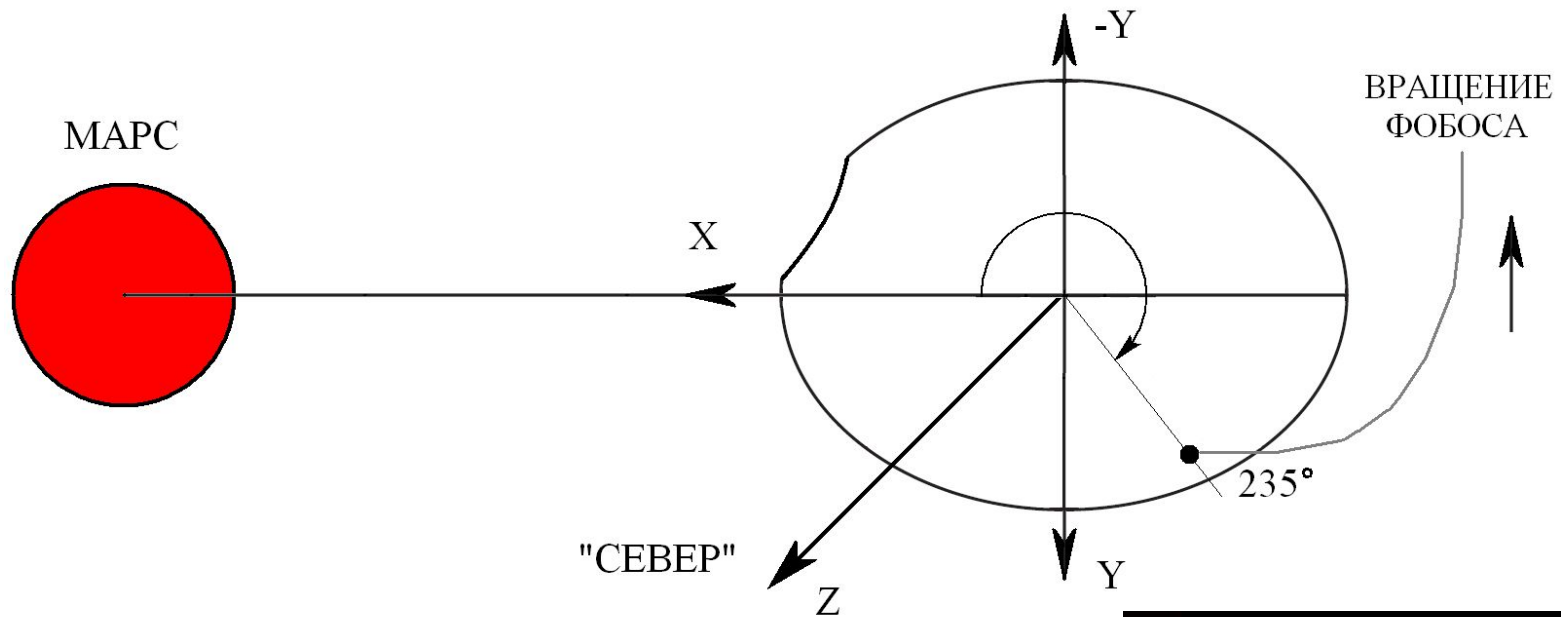
Особенность: В процессе посадки происходит совмещение средней нормали к поверхности с осью X аппарата, что порождает интенсивные угловые колебания КА с большими угловыми скоростями. \Rightarrow Возмущение канала измерения дальности за счет вариаций наклонной дальности и особенно – **возмущение монокулярного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

Сценарий НПО им. С. А. Лавочкина

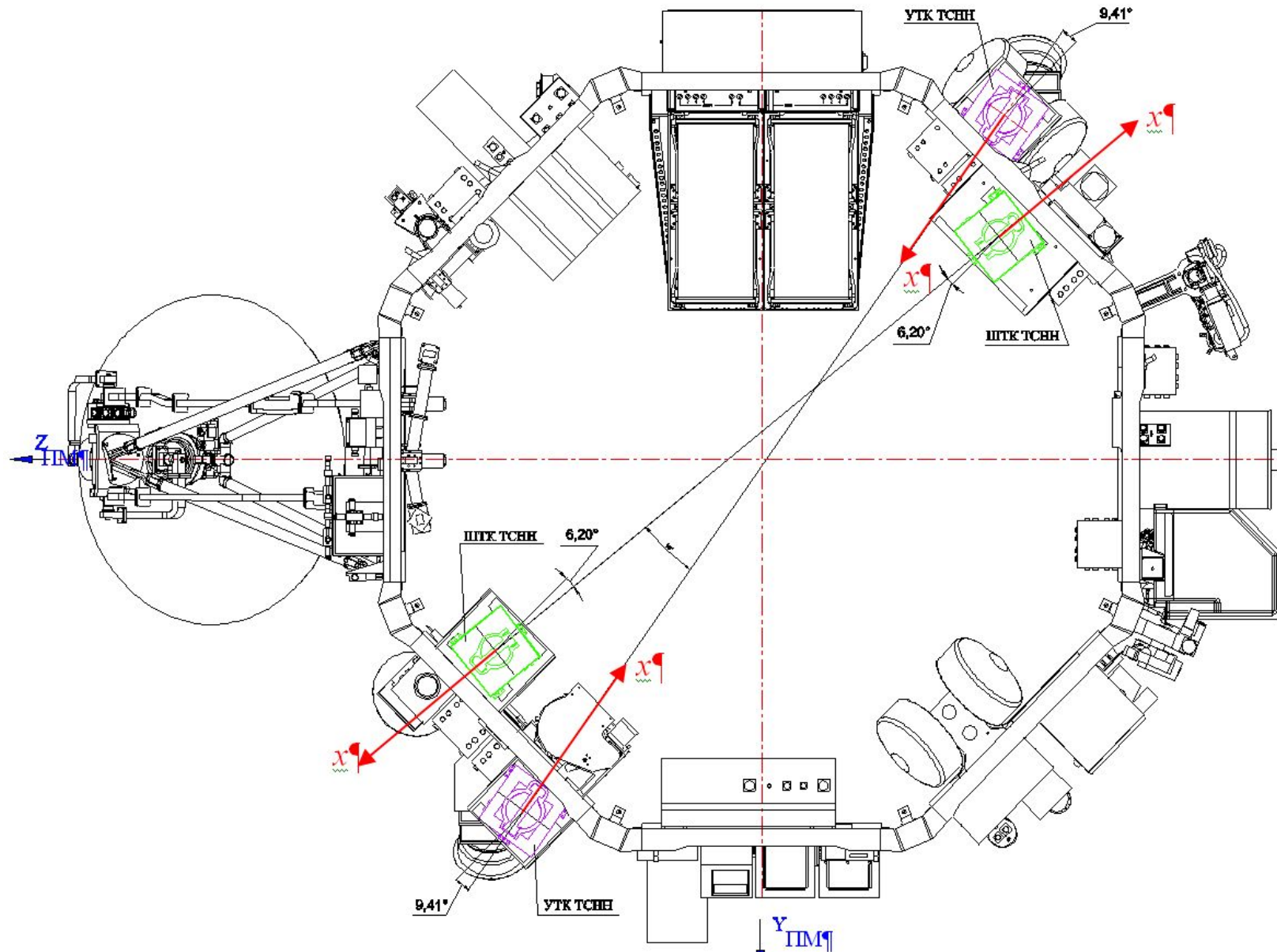
импульс схода с КСО прикладывается на высоте	23.2 км
продолжительность снижения от момента завершения импульса схода с КСО до номинального момента включения тормозного импульса	32.4 мин
продолжительность тормозного импульса	71.5 сек
высота на момент начала торможения	691 м
вертикальная скорость на момент 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. \Rightarrow Создаются благоприятные условия для работы СТЗ.

Системы координат Фобоса



Расположение камер на КА



Стереорежим

Высота и её оценки
Coarse и Precise

Диспаратность на
изображении
250*250

Вертикальная
скорость и её
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. С.
А. Лавочкина

Высота и её оценки
Coarse и Precise

Вертикальная
скорость и её
оценка на последних
48.6 метрах.

Прогнозируемые
границы
диспарантностей
(смещены
относительно текущей
диспарантности)

Стереорежим. Влияние разброса диспаратности 0.1

Высота и её оценки
Coarse и Precise

Вертикальная
скорость и её
оценка на последних
48.6 метрах.

Прогнозируемые
границы
диспаратностей
(смещены
относительно текущей
диспаратности)

Стереорежим

Допустим, диспаратность равна 25 пикселям. $H=48.6$ м.

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

Разброс по диспаратности 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 диспаратности, 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

$$\hat{S}_{p i+1} = W_0 \hat{S}_{p i} + W_1 \Delta X_i$$

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.