



Магистерская диссертация

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АЛГОРИТМА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ СПУТНИКОВ В
ГРУППОВОМ ПОЛЕТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАБОТКИ
ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ**

Сакович Марианна Александровна

**Научный руководитель
Овчинников М.Ю., д.ф.-м.н., проф.**

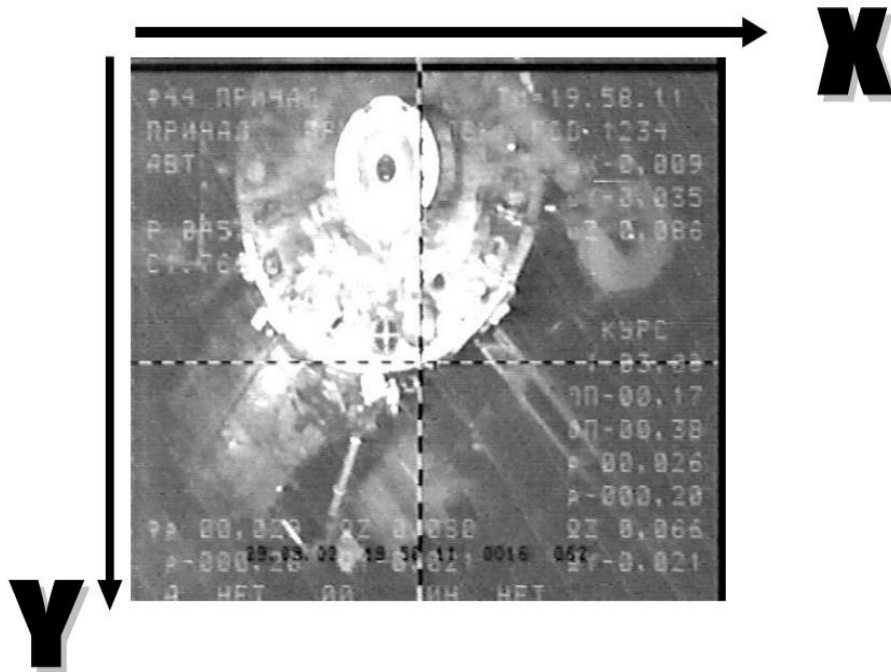
**Научный консультант
Иванов Д.С., к.ф.-м.н.**



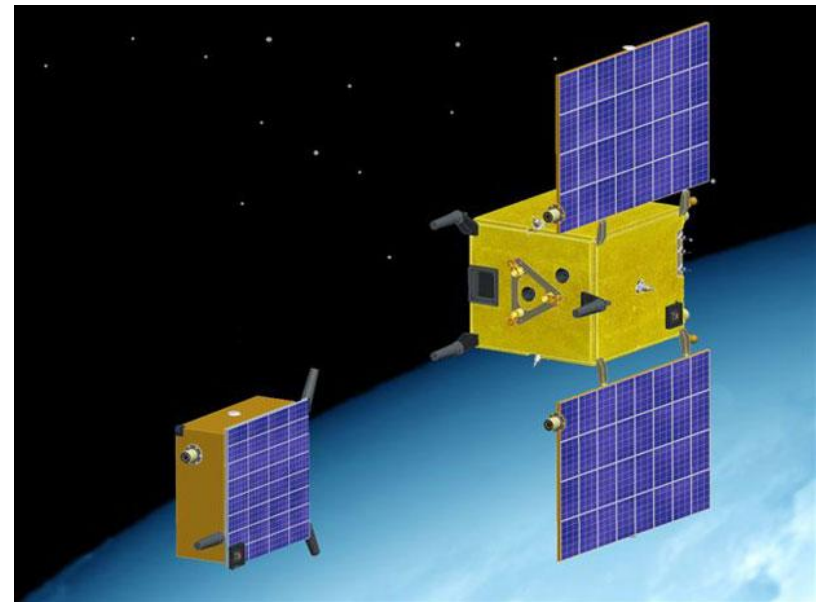
Содержание

- Методы определения относительного состояния по видеоизображению
- Алгоритм определения относительного состояния
- Тестирование алгоритма
- Алгоритм нахождения реперных точек и начальных параметров
- Тестирование алгоритма

Методы определения относительного фазового состояния по видеоизображению



Определение фазового состояния грузового корабля Прогресс по мишени на МКС



Определение относительного фазового состояния спутников PRISMA в групповом полете с помощью светодиодов

Актуальность задачи



Космический мусор на орбите



Определение относительного движения для захвата



Этапы решения задачи

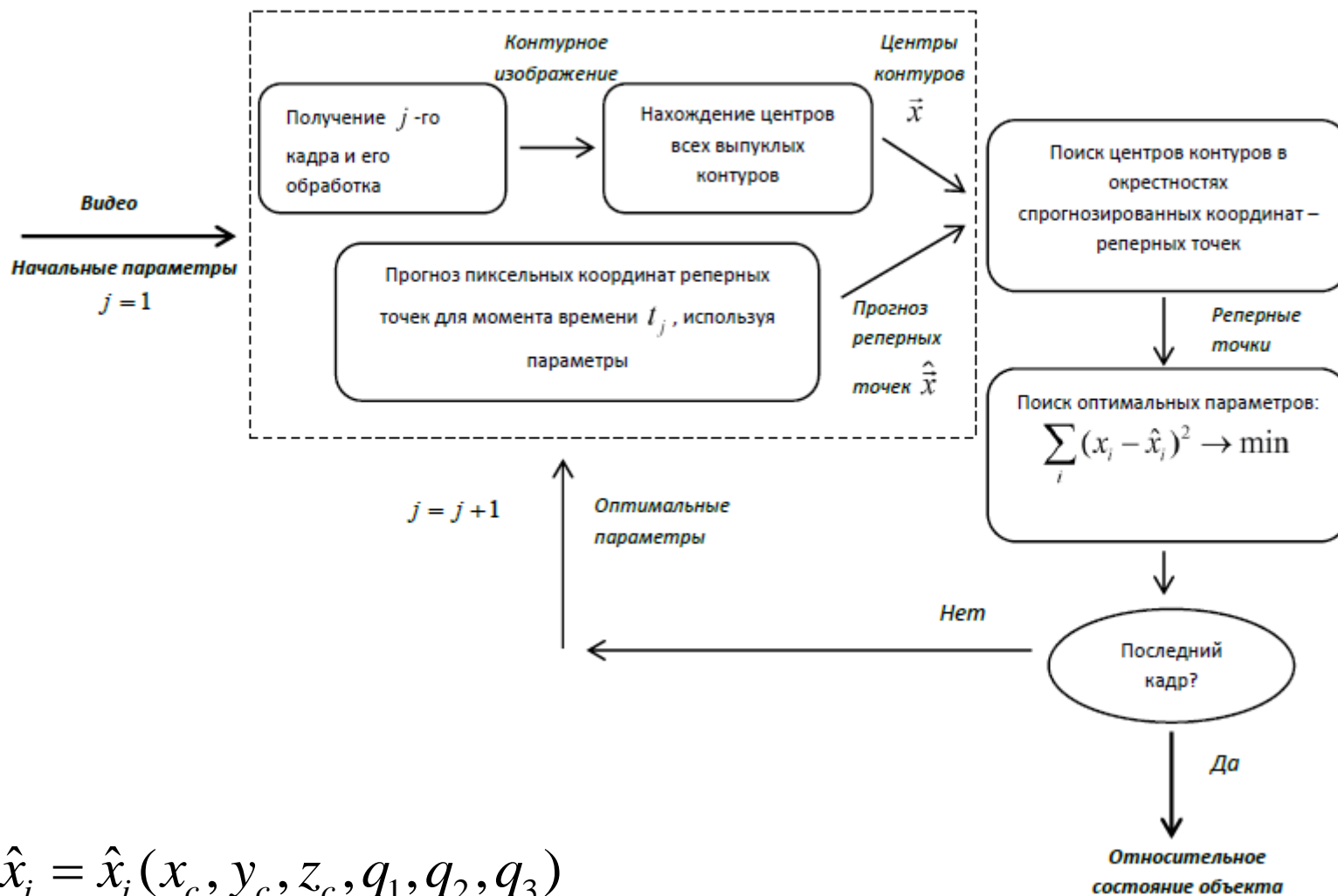
- Определение положения реперных точек 2-го КА
- Нахождение начальных параметров движения $(\vec{r}, \vec{q}, \vec{v}, \vec{w}, \vec{J})$

I этап

- Построение модели движения 2-го КА по начальным параметрам
- Определение ориентации и относительного положения 2-го КА

II этап

II этап. Описание алгоритма



$$\hat{x}_i = \hat{x}_i(x_c, y_c, z_c, q_1, q_2, q_3)$$

II этап. Описание алгоритма

$$\tilde{x}_1^p = \frac{x_1^p}{1 - x_3^p / f},$$

$$\tilde{x}_2^p = \frac{x_2^p}{1 - x_3^p / f}$$

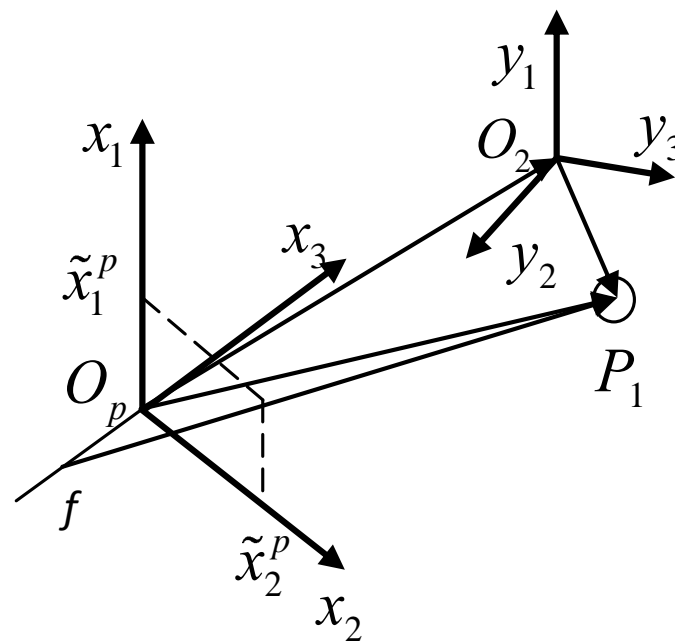
Переход от декартовых координат к пиксельным

$$x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}$$

Определение центров выпуклых контуров

$$\mathbf{R}_{P_1}^{O_p x} = \overrightarrow{O_p O_2}^{O_p x} + A \cdot \mathbf{R}_{P_1}^{O_2 y},$$

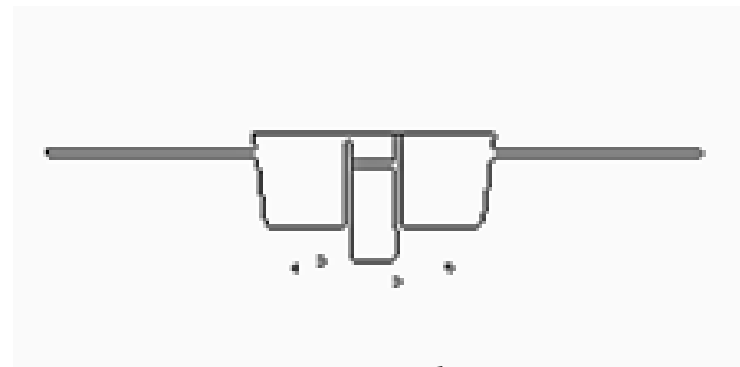
где A - матрица перехода от $O_2 y$ к $O_p x$



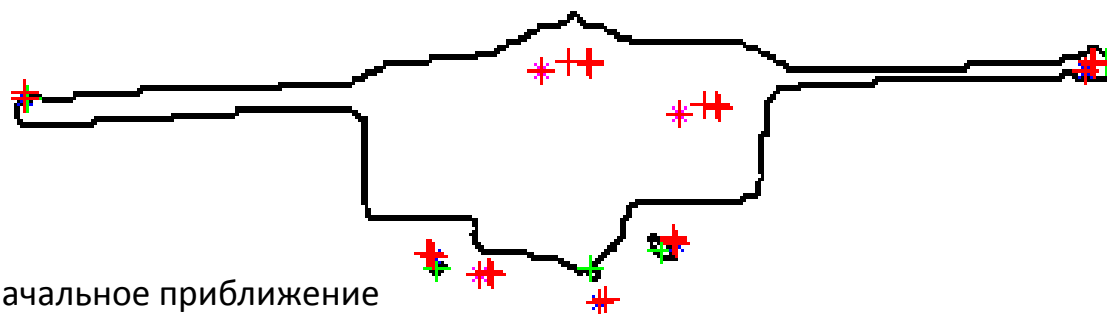
II этап. Пример работы алгоритма



Модель спутника

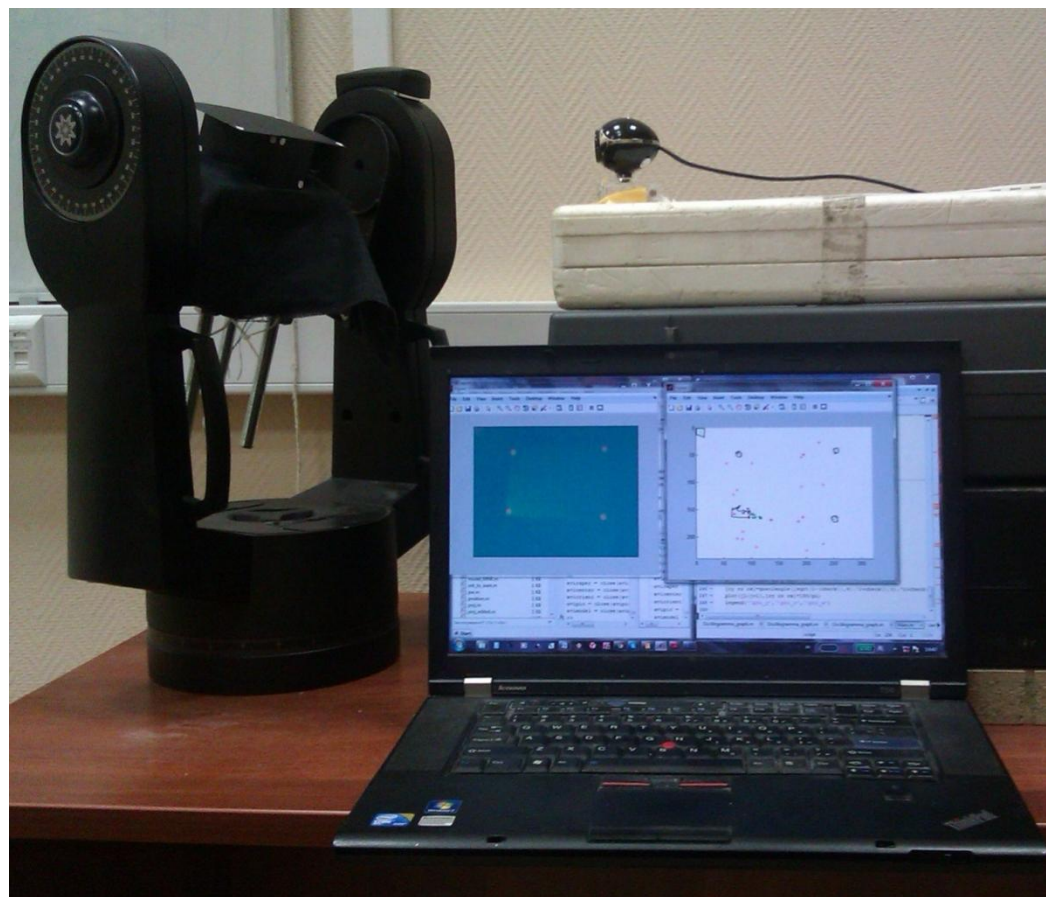


Контурное изображение



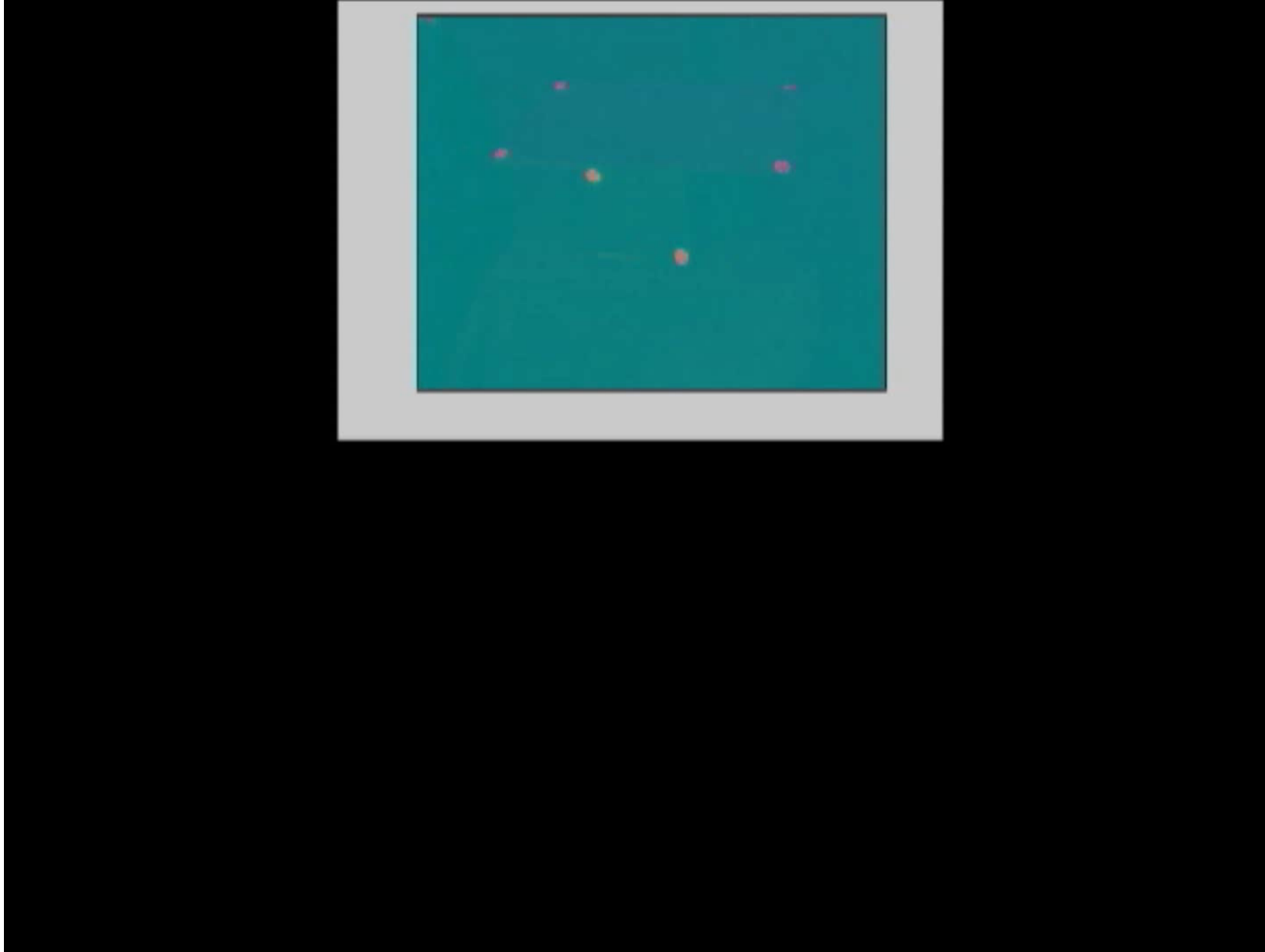
- * - начальное приближение реперных точек
- + - процесс сходимости
- + - итоговая оценка

II этап. Тестирование алгоритма на лабораторном стенде

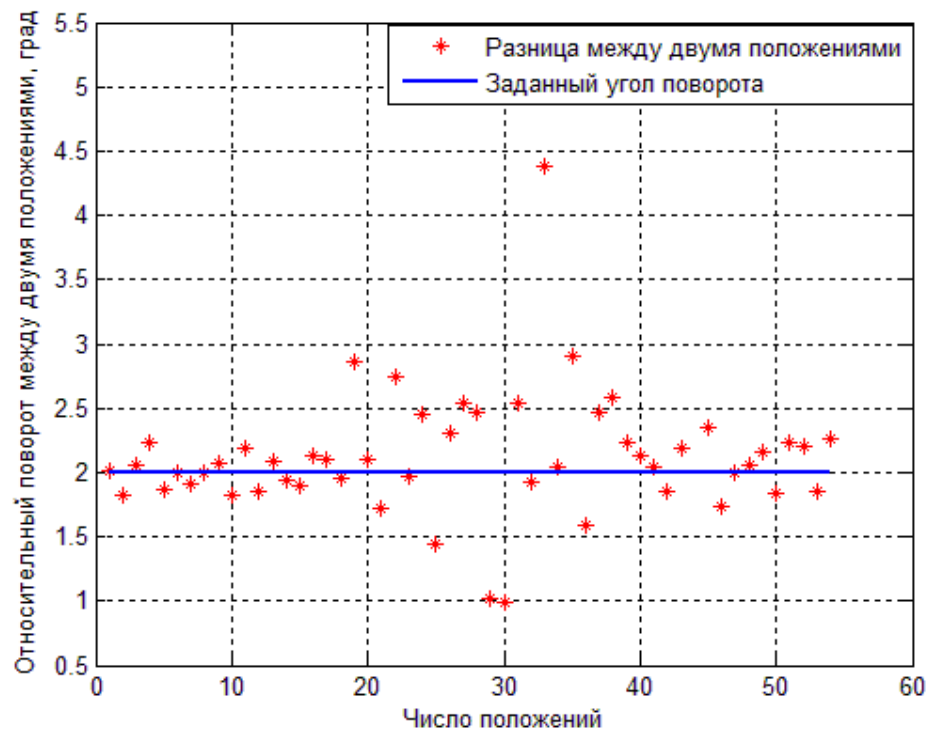




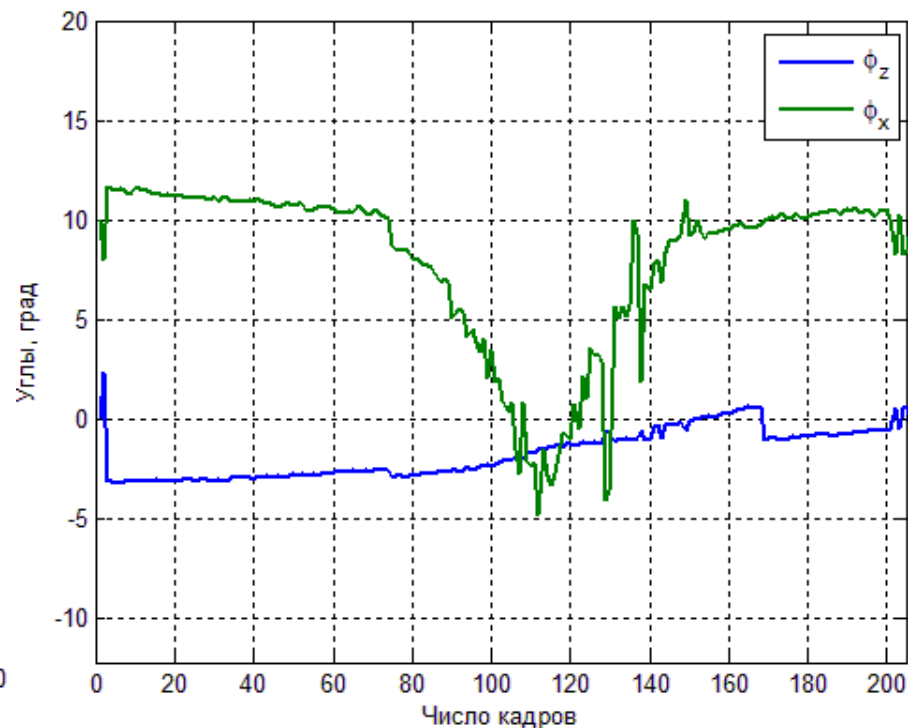
II этап. Тестирование алгоритма на лабораторном стенде



II этап. Тестирование алгоритма на лабораторном стенде

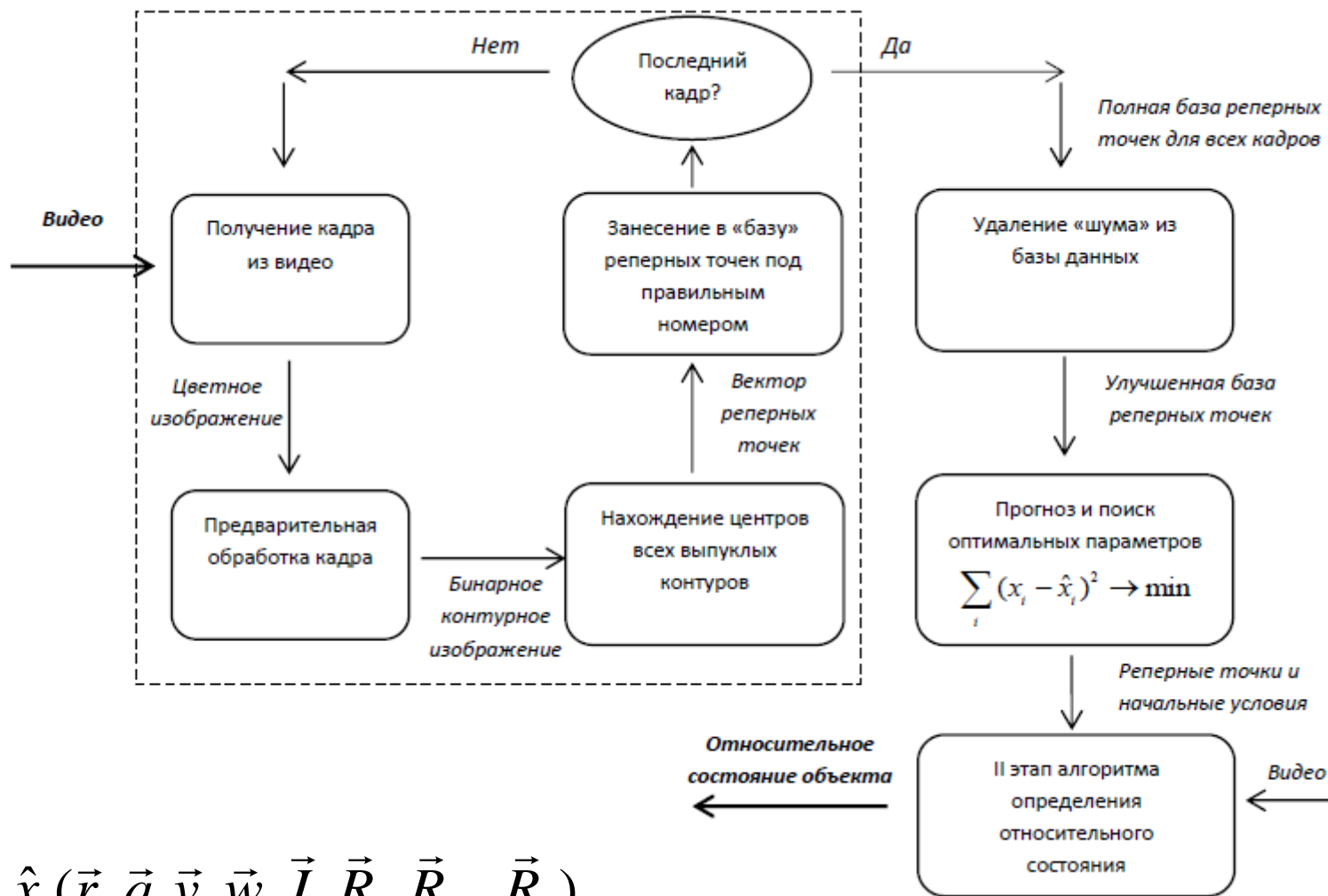


Относительный поворот по оси Y
между двумя положениями макета



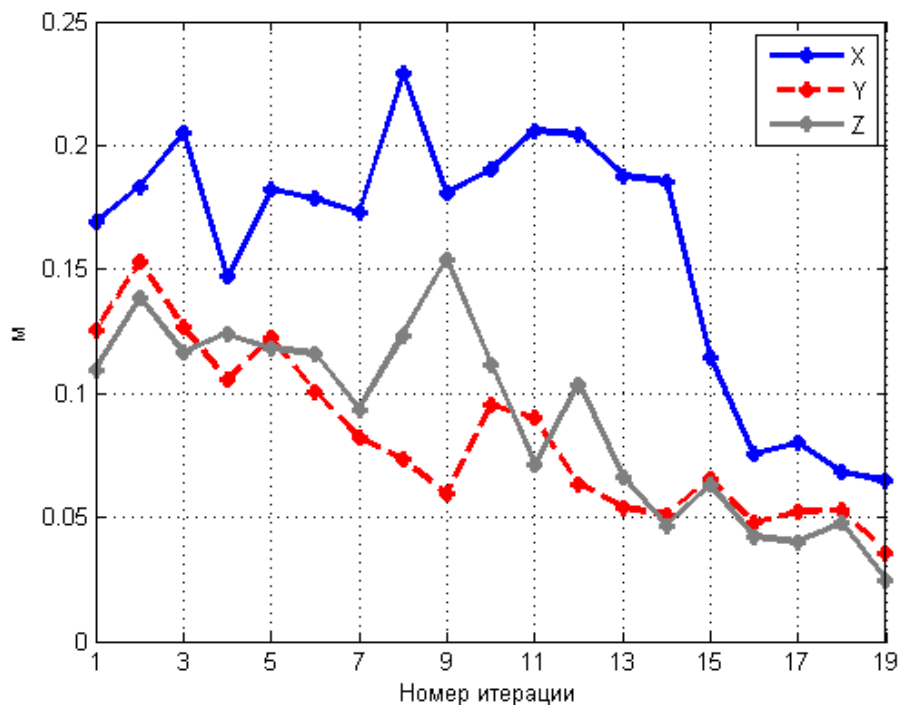
Ошибки ориентации макета по осям X и Z

I этап. Описание алгоритма

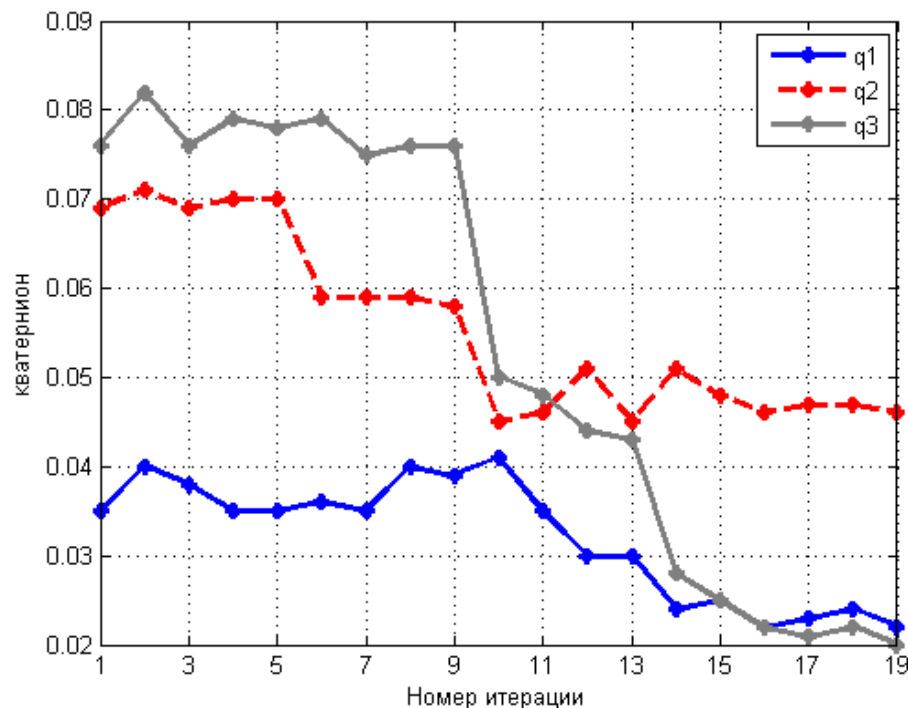


$$\hat{x}_i = \hat{x}_i(\vec{r}, \vec{q}, \vec{v}, \vec{w}, \vec{J}, \vec{R}_1, \vec{R}_2, \dots, \vec{R}_3)$$

I этап. Моделирование работы алгоритма

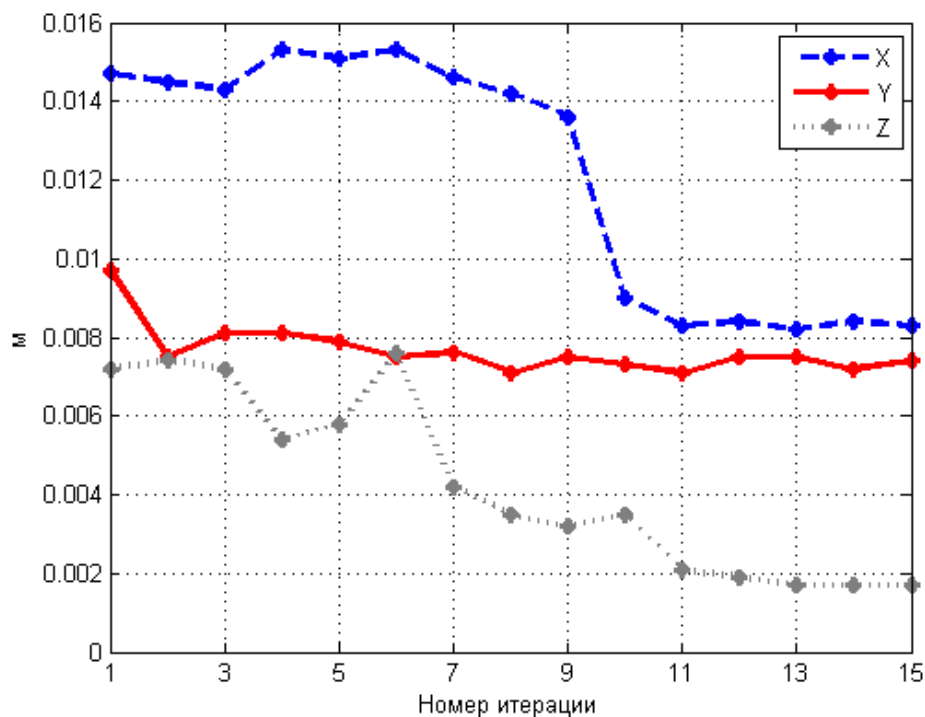


Разность истинных координат центра масс и найденных на определенной итерации

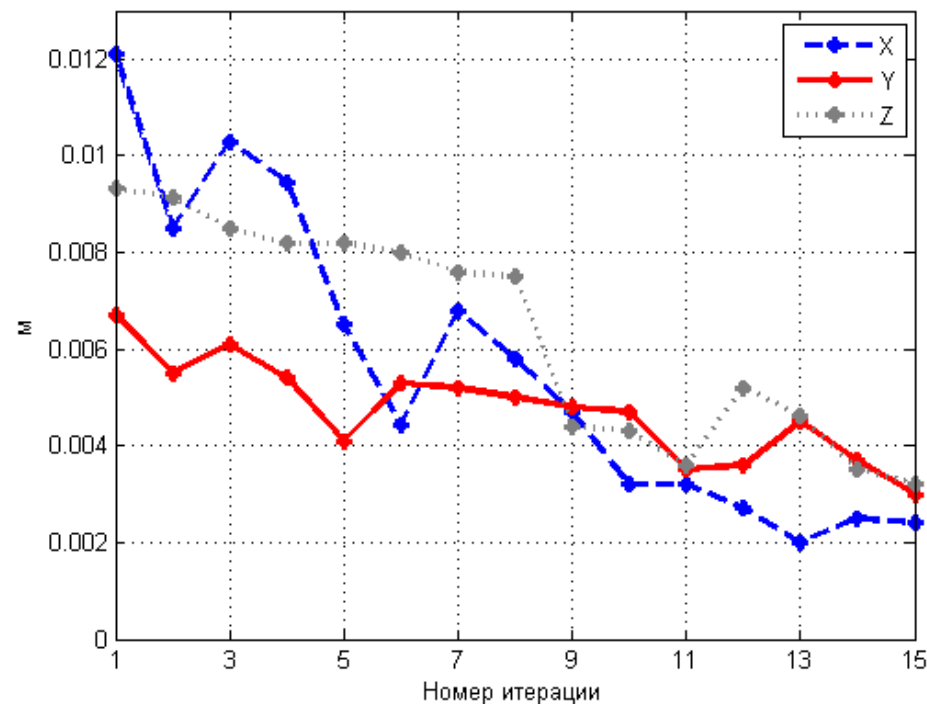


Разность истинных компонент векторной части кватерниона и найденных на определенной итерации

I этап. Тестирование на лабораторном стенде



Разность истинных координат 1-й реперной точки и найденных на определенной итерации



Разность истинных координат 2-й реперной точки и найденных на определенной итерации



Заключение

- Разработан новый двухэтапный алгоритм, который способен работать для определения движения невзаимодействующего объекта
- Проведено лабораторное испытание алгоритма, которое позволило протестировать алгоритм на аппаратном уровне, что приближает его к практической реализации



Список публикаций по теме

- Д.С.Иванов, С.О.Карпенко, М.Ю.Овчинников, М.А.Сакович. Определение относительного движения спутников при их разделении по результатам обработки видеоизображения/ Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – М., 2012. – № 57. – 24 с.
- Д.С.Иванов, М.А.Сакович, С.О.Карпенко. Исследование алгоритма определения относительного положения и ориентации спутников в групповом полете с использованием обработки видеоизображения// Сборник тезисов третьей всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов», г. Таруса, 10-13 сентября, 2012, с 22.
- М.А. Сакович, Д.С. Иванов, С.О. Карпенко. Исследование алгоритма определения относительного положения и ориентации спутников в групповом полете с использованием обработки видеоизображения// Труды 55-й научной конференции МФТИ “Проблемы фундаментальных и прикладных естественных и технических наук в современном информационном обществе”. Часть VII. Управление и прикладная математика. — М.: МФТИ, 2012. — с. 104-105.
- Д.С.Иванов, М.А.Сакович, С.О.Карпенко. Исследование алгоритма определения относительного положения и ориентации спутников в групповом полете с использованием обработки видеоизображения// Механика, управление и информатика.2013 №1, с 104-113.
- М.А. Сакович, Д.С.Иванов. Лабораторные испытания алгоритма определения относительного движения спутников в групповом полете с использованием обработки видеоизображения// Труды 56-й научной конференции МФТИ “Проблемы фундаментальных и прикладных естественных и технических наук в современном информационном обществе”. Управление и прикладная математика. Том 2. — М.: МФТИ, 2013. — с. 115-116.
- Программа для ЭВМ “Программный комплекс для проектирования и исследования управляемого орбитального и углового движения малых космических аппаратов в групповом полете с использованием двигателей нового поколения”, авторы: М.Г.Широбоков, С.П.Трофимов, М.Ю.Овчинников, С.А.Мирер, С.С.Ткачев, Д.С.Иванов, Д.С.Ролдугин, М.А.Сакович, А.Е.Ильин. Правообладатель: Институт прикладной математики им.М.В.Келдыша Российской академии наук. Номер регистрации в Роспатенте 2012615775, приоритет от 10 июля 2012 г.
- D. Ivanov, S. Karpenko, M. Ovchinnikov, M. Sakovich. Investigation of the Formation Flying Relative Position and Attitude Determination Algorithm Using Image Processing/ 7th International Workshop on Satellite Constellations and Formation Flying, 13-15 March, 2013, Lisbon, Portugal. Paper IWSCFF-2013-05-10, 11p.



Спасибо за внимание!