

Алгоритм определения относительного положения и ориентации макетов наноспутников на лабораторном стенде в ZARM

С.Трофимов (МФТИ)

Д.Иванов (МФТИ, ИПМ им. Келдыша РАН)

Д.Биндель (ZARM, Бремен)

Содержание доклада

- Введение
- Постановка задачи
- Описание стенда
- Описание алгоритма
- Результаты экспериментов
- Перспективы

Введение

Групповые полеты (Formation Flying):

- расстояние между спутниками в группе много меньше характерной высоты орбиты;
- активное управление относительным положением и ориентацией спутников в группе.

Введение



Введение

Системы спутниковой навигации:

- во многих случаях не обеспечивают требуемую точность определения относительного расстояния
- остается открытым вопрос об ориентации спутников.

Возможное средство решения проблемы – использование фотосъемки.

Постановка задачи

- разработать алгоритм определения относительного положения и ориентации на основе обработки снимков объекта с известными геометрическими параметрами;
- реализовать алгоритм на лабораторном стенде.

Описание стенда

Название стенда:

LUVEX (Luftkissen Vehicle Experiment)

Разработчик:

Центр прикладных космических технологий и микрогравитации (ZARM) при Бременском Университете (Германия)

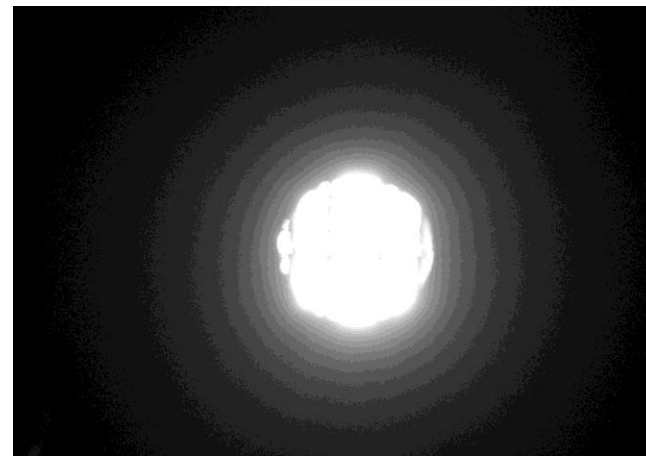
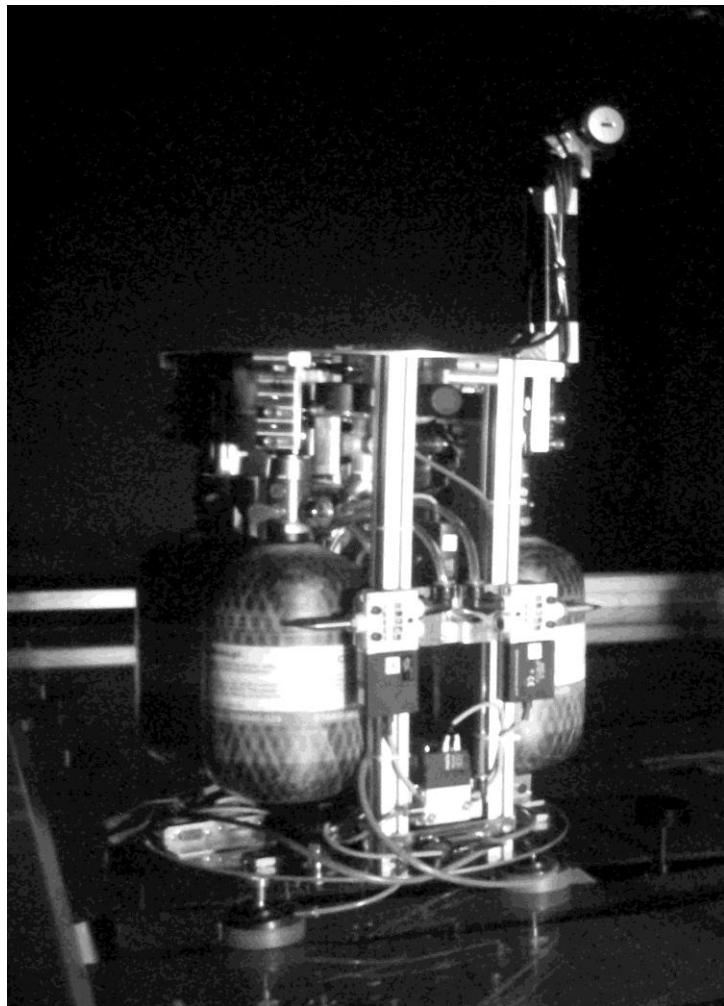
Описание стенда

Компоненты стенда:

- стеклянный стол;
- макет на воздушной подушке, снабженный шестью импульсными двигателями, бортовым компьютером и веб-камерой;
- укрепленные на макете баллоны со сжатым воздухом;
- центральный неподвижный объект;
- модель источника света – частично задрапированная лампа дневного света.

Часть помещения, где установлен стол, отгорожена светонепроницаемой тканью.

Описание стенда



Описание алгоритма

Основная идея: по размерам освещенной части тела с известными геометрическими параметрами вычисляется расстояние до него и угол между направлением на это тело и направлением на источник света.

В целях упрощения расчетов и увеличения точности в качестве такого тела был выбран цилиндр.

Описание алгоритма

Получение снимка
веб-камерой



Обработка снимка при
помощи MATLAB на
вспомогательном
компьютере



Передача результатов
обработки на бортовой
компьютер посредством
беспроводного
соединения



Генерация управляющих импульсов для
поддержания выбранного типа
движения макета



Использование полученных при
обработке изображения данных
и данных с датчиков в
алгоритме управления

Описание алгоритма

Принятые допущения:

- пучок света от источника – параллельный;
- калибровка камеры – нахождение множителей, связывающих линейные размеры вдоль каждой из двух осей некоторой выбранной (калибровочной) плоскости с расстоянием между пикселями на снимке.

Описание алгоритма

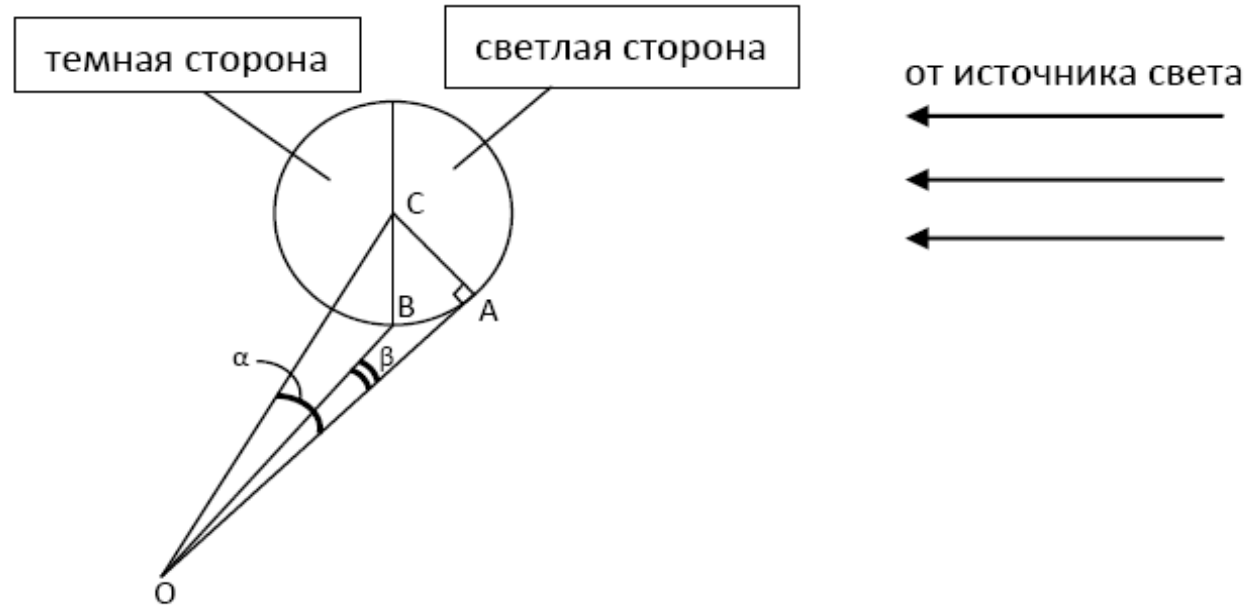
$$h_0 = k_x \cdot h_{pix}$$

$$w_0 = k_y \cdot w_{pix}$$

$$ang_size_h = h_0 / d_0$$

$$ang_size_w = w_0 / d_0$$

$$d = h / ang_size_h$$



$$ang = \frac{\pi}{2} + \angle OCB = \frac{\pi}{2} + \left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \angle BCA \right) \approx \pi - \arcsin \left(\frac{r}{r+d} \right) - \arccos \left(\frac{r - d \cdot \sin \beta}{r} \right) =$$

$$= \pi - \arcsin \left(\frac{r}{r+d} \right) - \arccos \left(1 - \frac{d \cdot ang_size_w}{r} \right)$$

Описание алгоритма

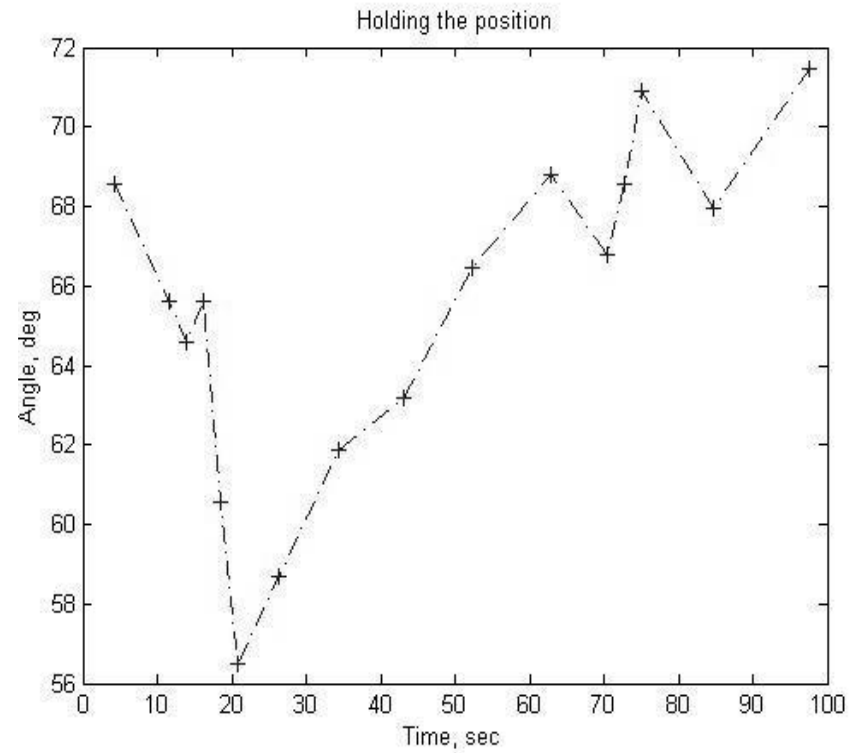
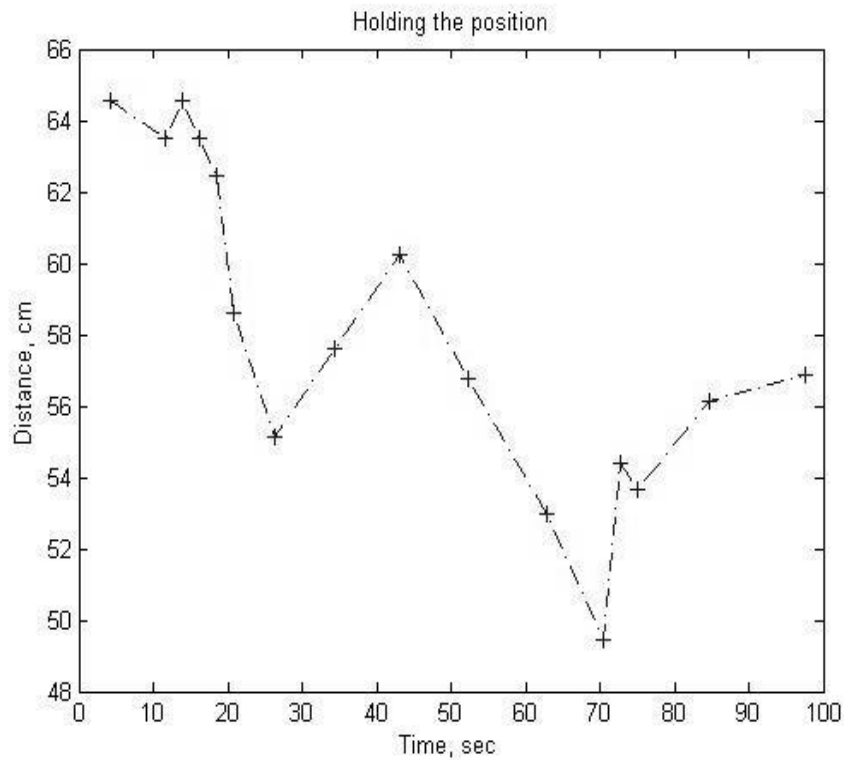
Данный метод позволяет также найти:

- отклонение направления на центр цилиндра от центра кадра;
- скорость движения аппарата (по сравнению двух последовательных снимков).

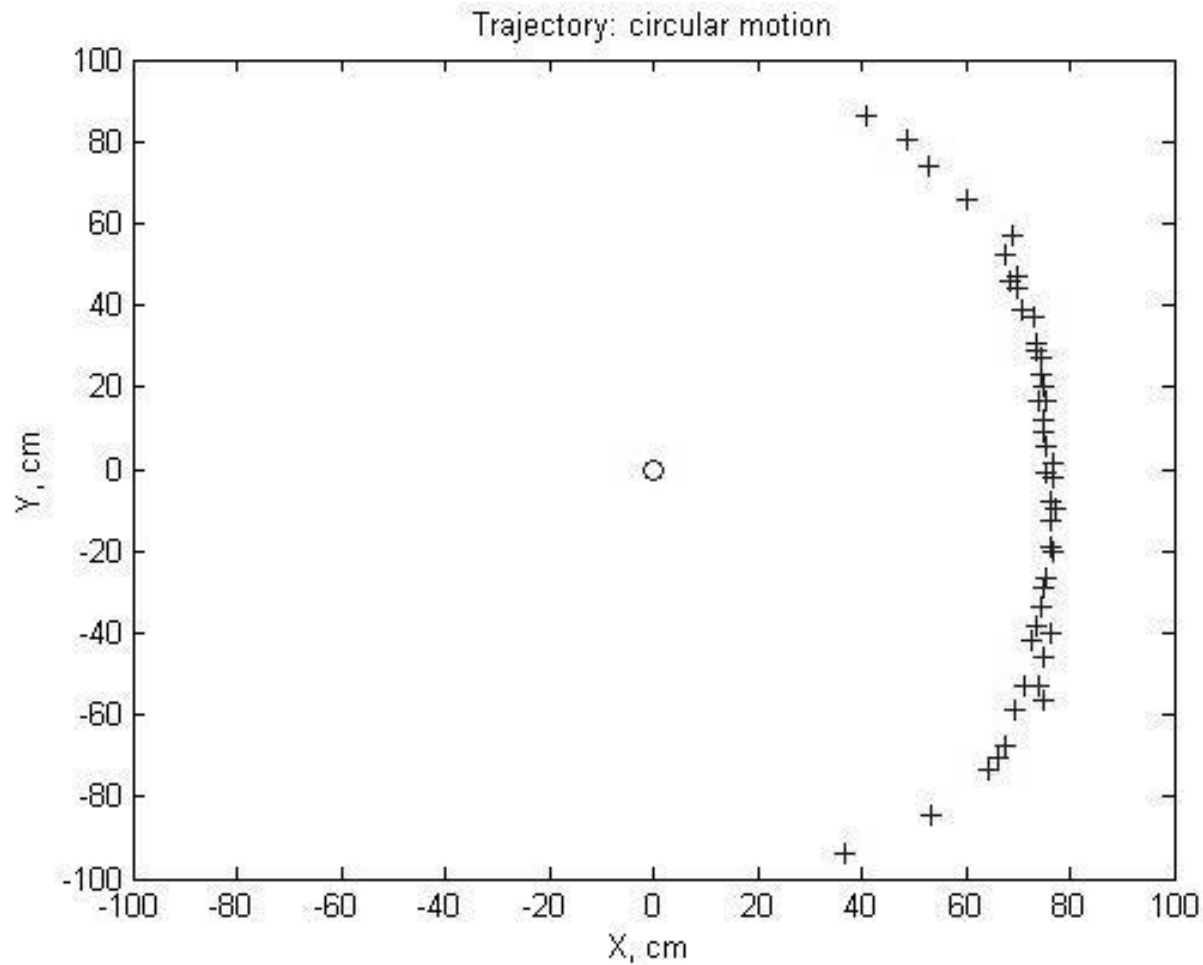
Описание алгоритма

Проблемные области пространства	Размер области (как интервал угла <i>ang</i>), град	Причина проблемы
Область засветки	180 ± 15	Свет от источника попадает в объектив камеры
Область неоднозначности	± 5	Угловой размер освещенной области не меняется

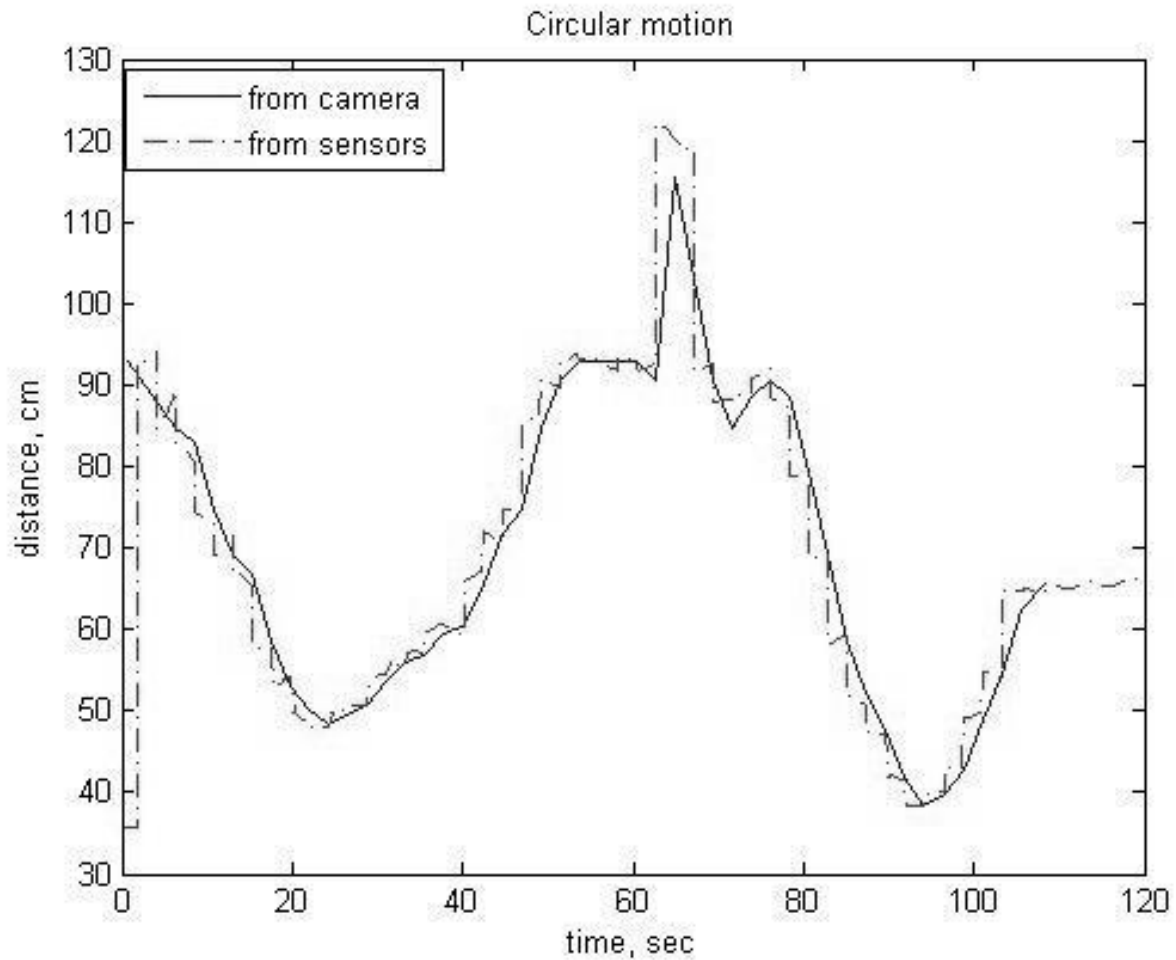
Результаты экспериментов



Результаты экспериментов



Результаты экспериментов



Результаты экспериментов

Основные трудности при проведении эксперимента:

- неточное расположение импульсных двигателей на макете;
- частый уход центрального тела из поля зрения камеры при подаче управляющих импульсов ;
- неидеальность реализации движения на воздушной подушке.

Перспективы

Особенности модели:

- плоское движение объектов;
- фиксированная форма центрального тела.

Возможная модификация: на ведущем спутнике – конфигурация излучателей в определенном частотном диапазоне, на дочернем спутнике – приемник излучения.

Спасибо за внимание!