

58 научная конференция МФТИ

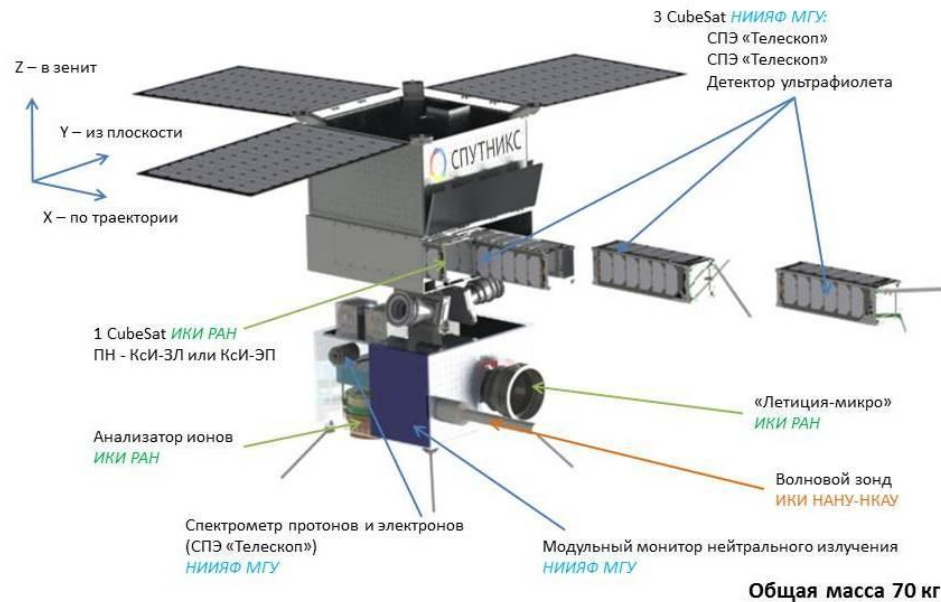
**Алгоритмы управления
распределёнными
спутниковыми системами**

Докладчик Шестаков С. А.

Постановка задачи

Предпосылки:

- А.А. Петрукович: проанализировать возможность формирования, поддержания и управления роем аппаратов, с возможностью выделения тетраэдров с тем, чтобы избежать целенаправленного поддержания тетраэдров. Как управлять?
- Совместный проект (ИКИ, МГУ, Спутникс) по изучению полярных сияний: ТаблетСат с 4-мя отделяемыми неуправляемыми Cubesat 3U



Постановка задачи

- Дана группа из нескольких (не менее пяти) спутников
- Необходимо выделить в группе несколько спутников, имеющих конфигурацию, близкую к заданной
- В простейшем случае конфигурация есть правильный тетраэдр
- В качестве модели движение: уравнения Хилла-Клохесси-Уилтшира
- Относительные орбиты предполагаются замкнутыми

$$\begin{cases} \ddot{x} + 2\omega\dot{z} = 0, \\ \ddot{y} + \omega^2 y = 0, \\ \ddot{z} - 2\omega\dot{x} - 3\omega^2 z = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} x = -3C_1\omega t + 2C_2 \cos \omega t - 2C_3 \sin \omega t + C_4, \\ y = C_5 \sin \omega t + C_6 \cos \omega t, \\ z = 2C_1 + C_2 \sin \omega t + C_3 \cos \omega t, \end{cases}$$

Пять спутников

- 5 спутников – 5 тетраэдров
- Выбираем лучший – вводим меру на тетраэдрах

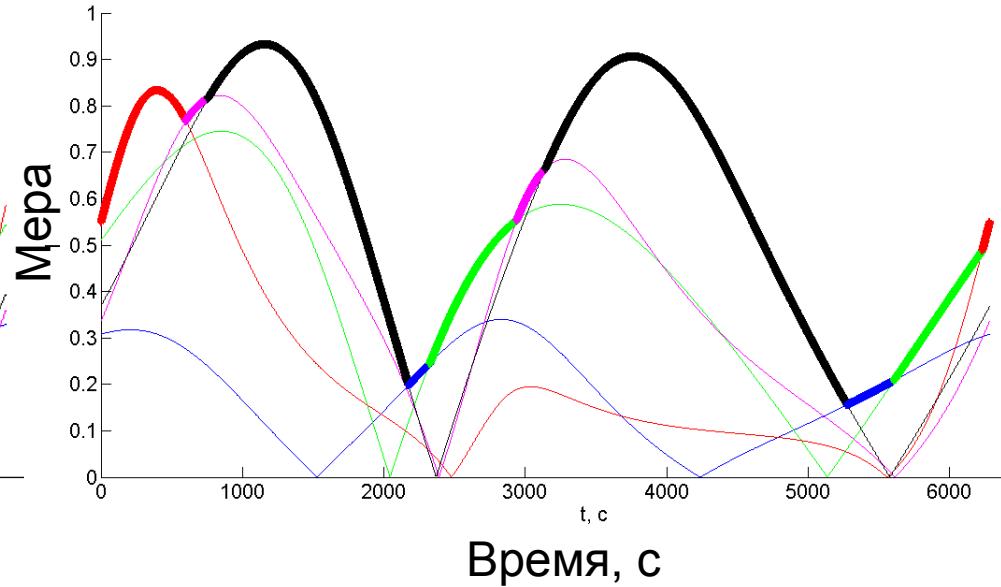
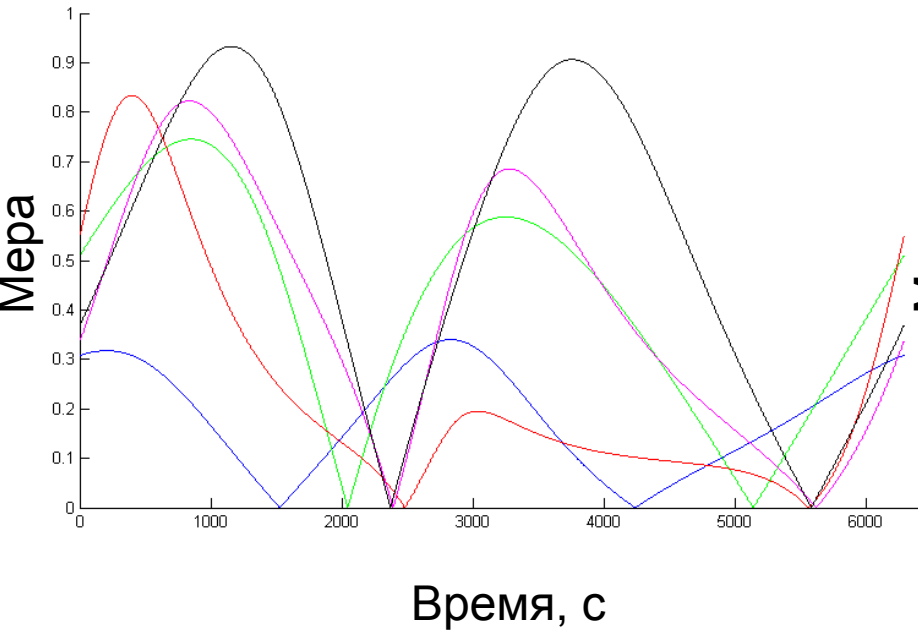
$$M(t) = 72\sqrt{3} \frac{V(t)}{(\sum l(t)^2)^{3/2}}$$

$$I = \frac{1}{T} \sum_t |M(t)|$$

- Интересен случай большего количества спутников, при котором полный перебор четвёрок затруднителен

Пять спутников

Без управления выбираем лучший из тетраэдров



Усреднённая мера $I_0 = 0.59$

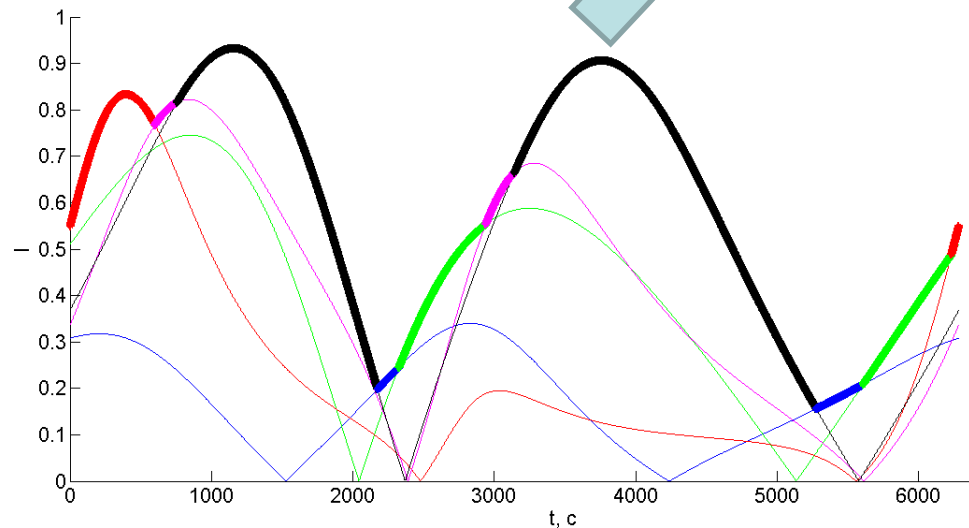
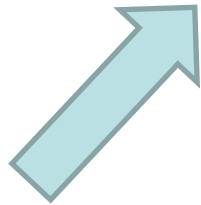
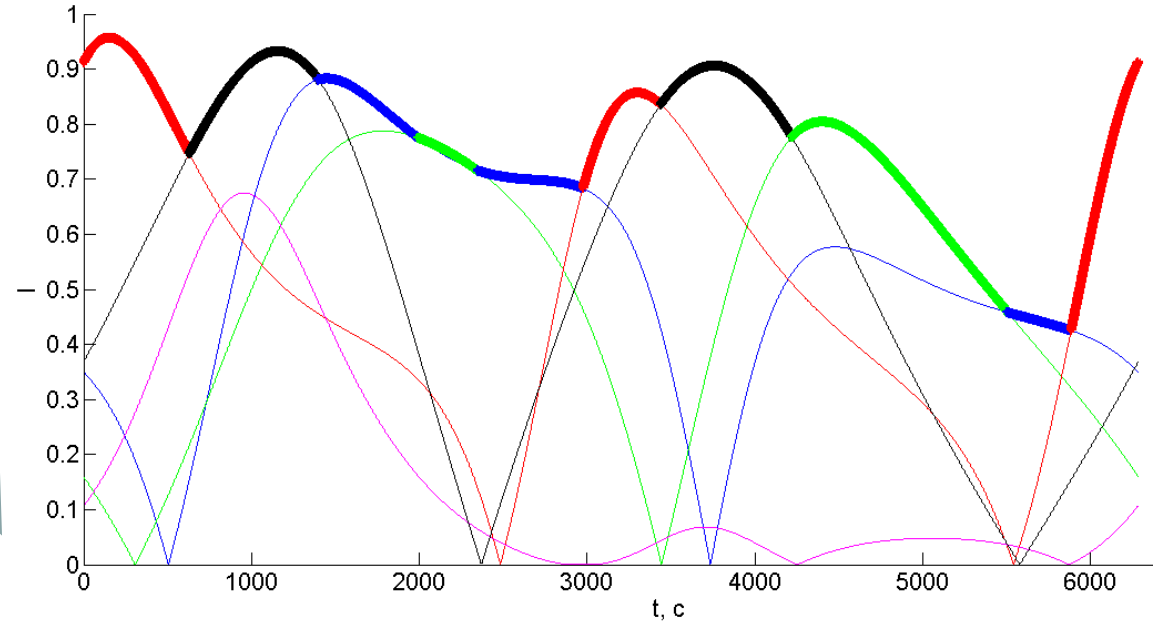
Пять спутников

- Допустим, можем управлять одним из спутников, меняем его относительную орбиту и максимизируем «правильность» тетраэдра (в общем случае – произвольную меру)
- Что оптимизировать при управлении?
- Вариант 1: находить относительную орбиту, максимизирующую усреднённую меру – поиск локального максимума меры, переменные – $C_2 \dots C_6$, определяющие относительное движение

Максимизация усреднённой меры

Усреднённая мера

$$I_0 = 0.59$$
$$I_{best} = 0.77$$



Жадный алгоритм

Что оптимизировать при управлении?

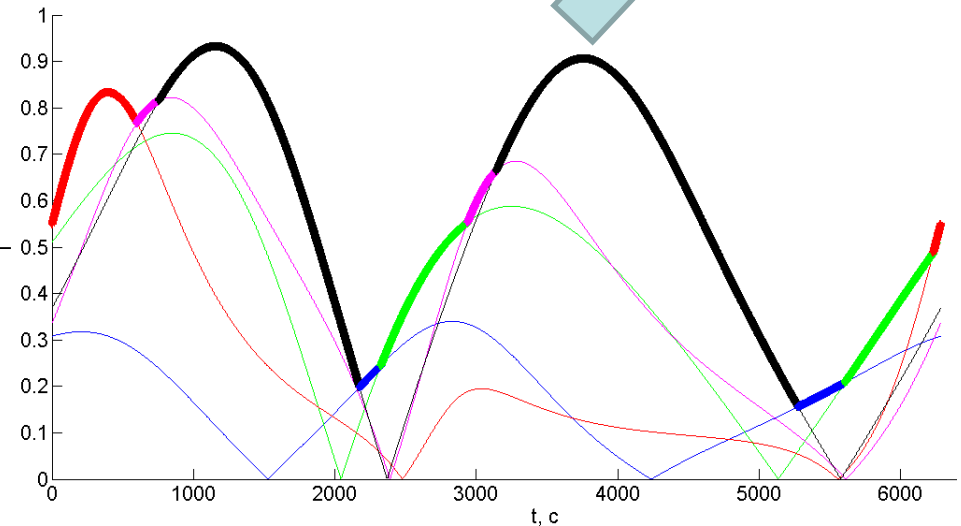
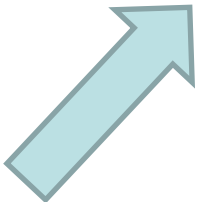
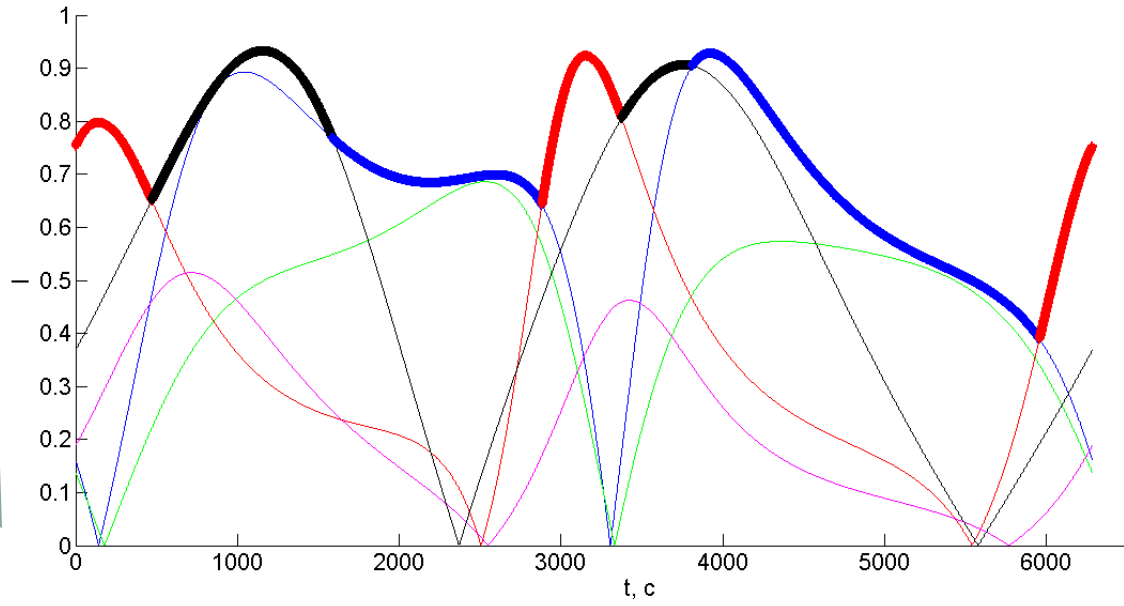
При максимизации меры каждый раз пересчитываются все тетраэдры – допустимо, когда спутников мало, при росте числа спутников время поиска растёт как $T_{\max find} \cdot n^3$

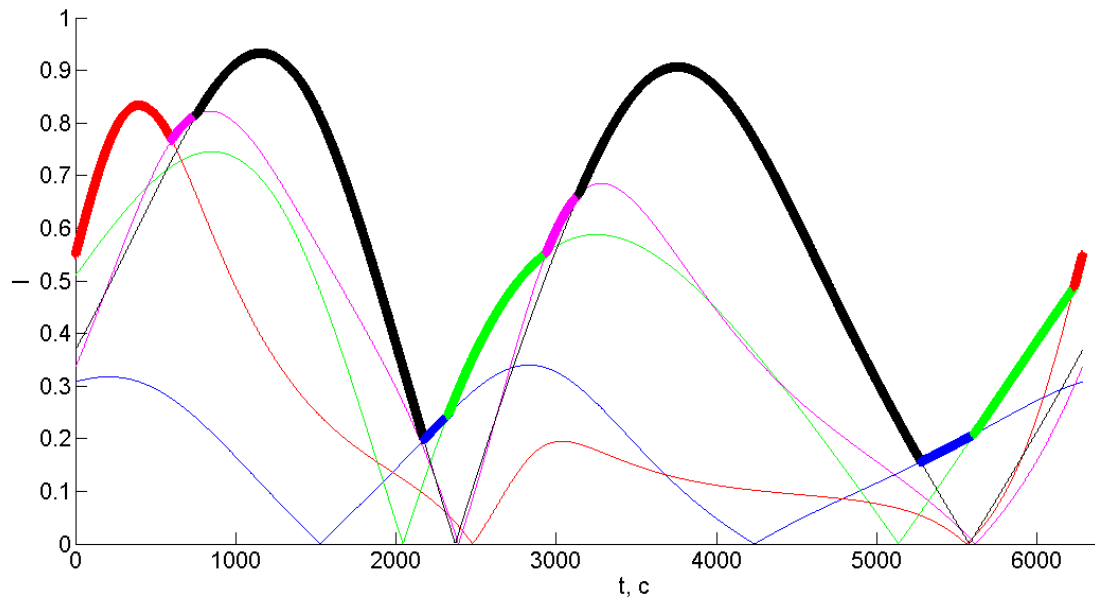
Вариант 2: «жадный» алгоритм:

- Рассчитываем конфигурацию без управления
- Находим тетраэдр, реже всех бывающий наилучшим среди всех
- Оптимизируем не наилучшую усреднённую меру, а конкретный тетраэдр

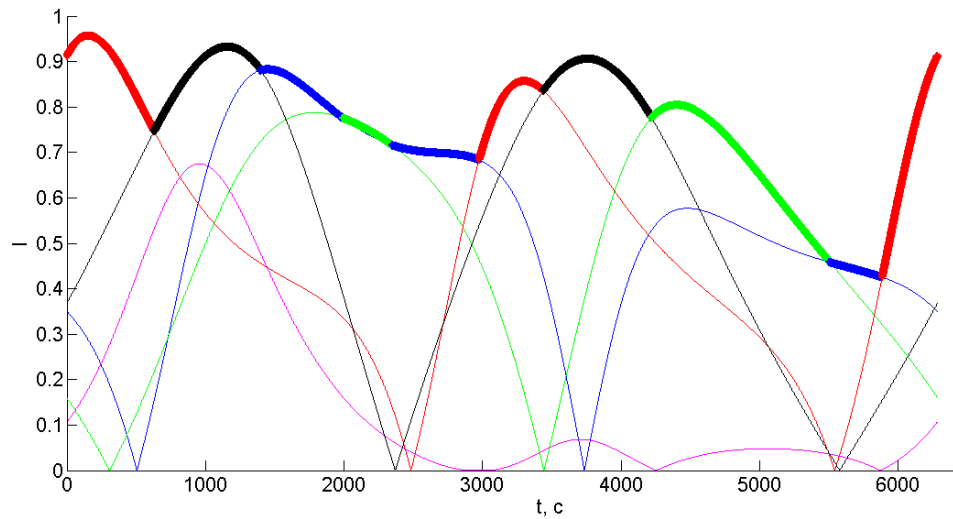
Жадный алгоритм

$$I_0 = 0.59$$
$$I_{greed} = 0.73$$

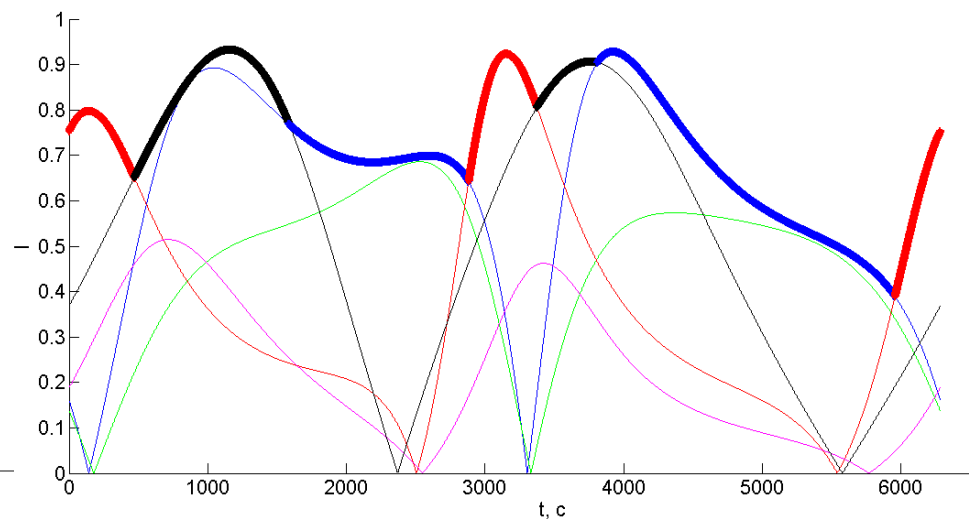




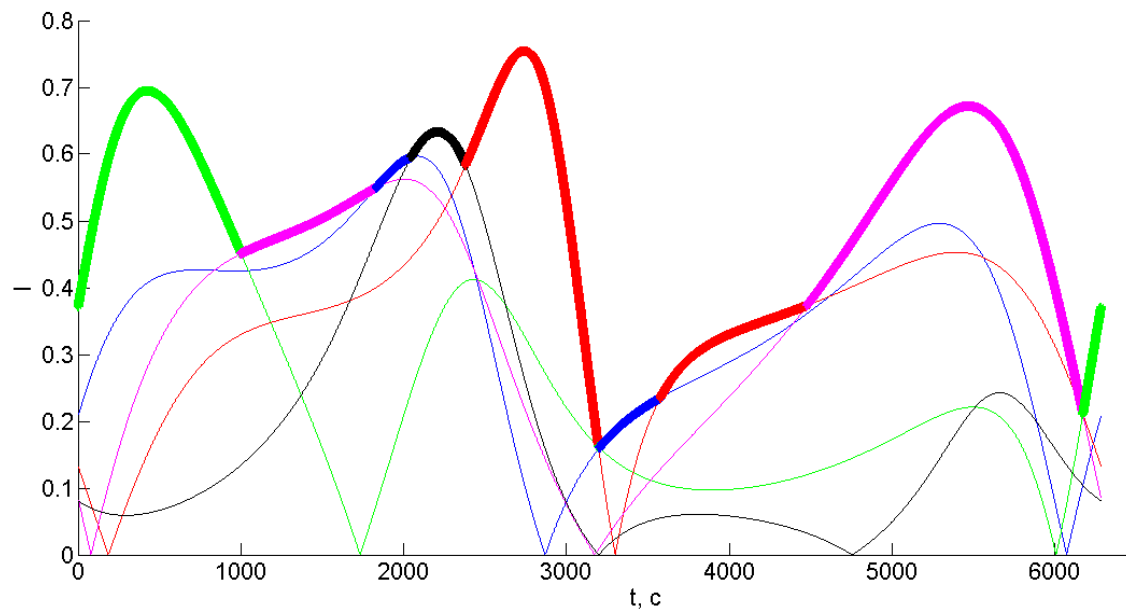
$I_0 = 0.59$



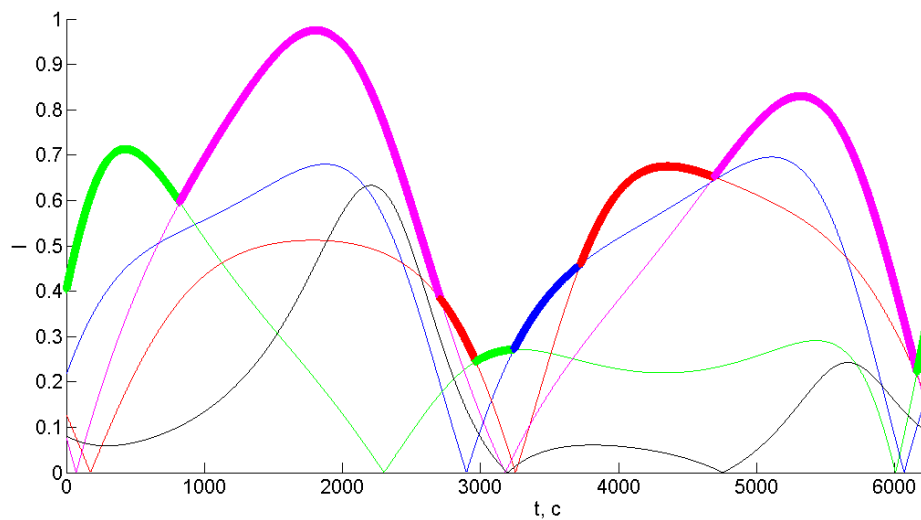
$I_{best} = 0.77$



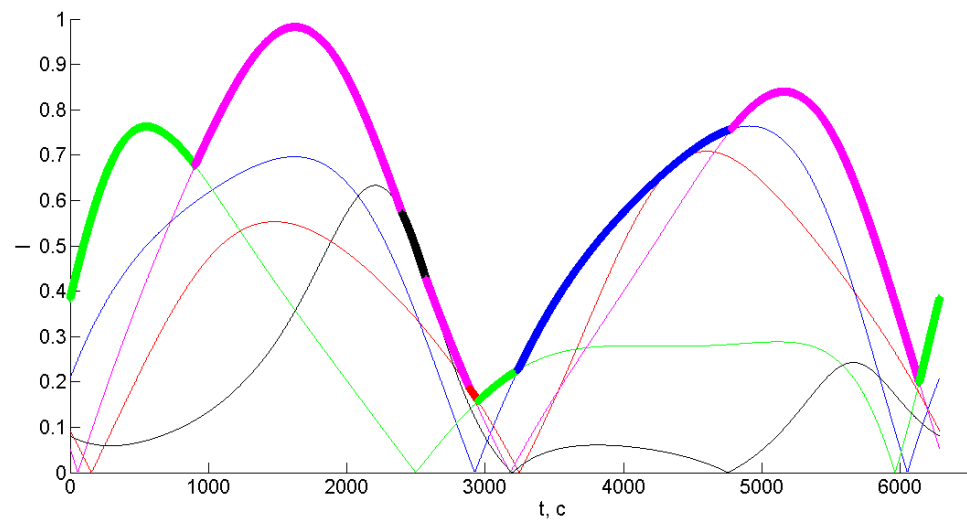
$I_{greed} = 0.73$



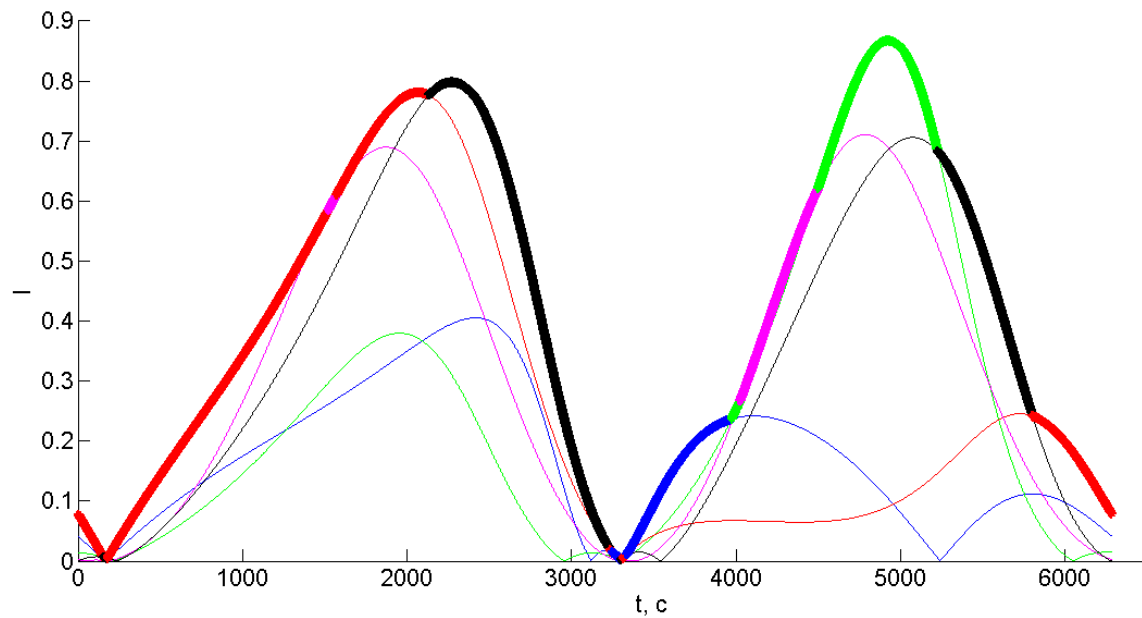
$$I_0 = 0.50$$



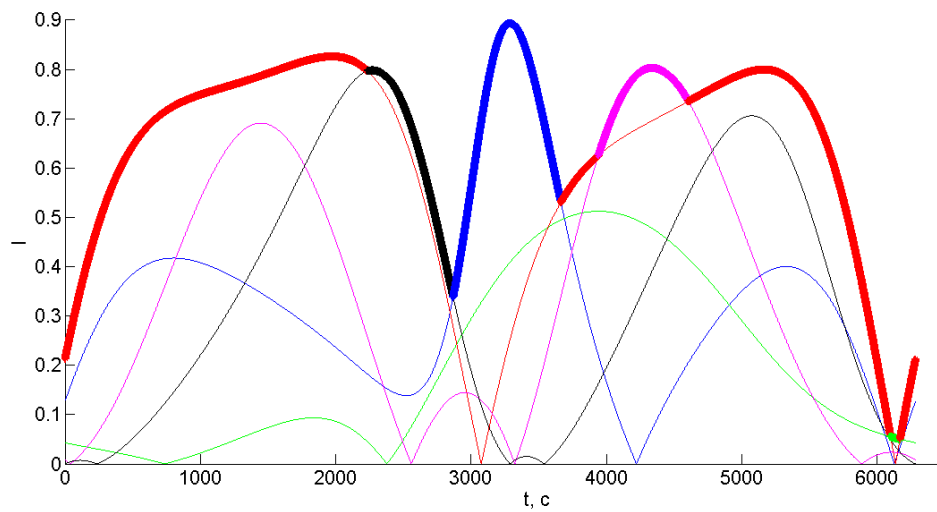
$$I_{best} = 0.64$$



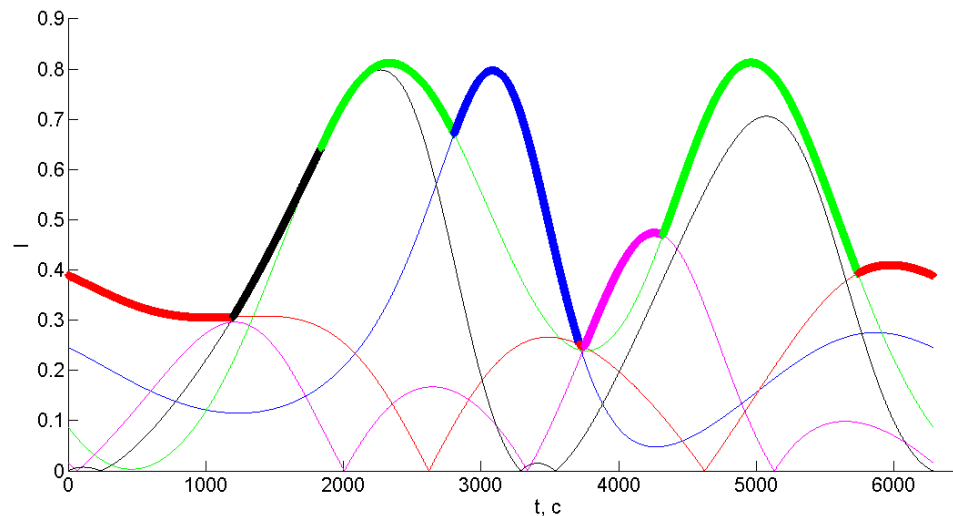
$$I_{greed} = 0.62$$



$$I_0 = 0.42$$



$$I_{best} = 0.67$$



$$I_{greed} = 0.54$$

Что есть?

- Для минимального количества спутников рассмотрена задача выделения правильных тетраэдров
- Предложен алгоритм улучшения конфигурации, пригодный (по быстродействию) для большого количества спутников

Что нужно?

- Найти способ выделения тетраэдров при большом количестве спутников
- Высокоэллиптическая опорная орбита
- Оптимизировать орбиты с учётом расхода топлива