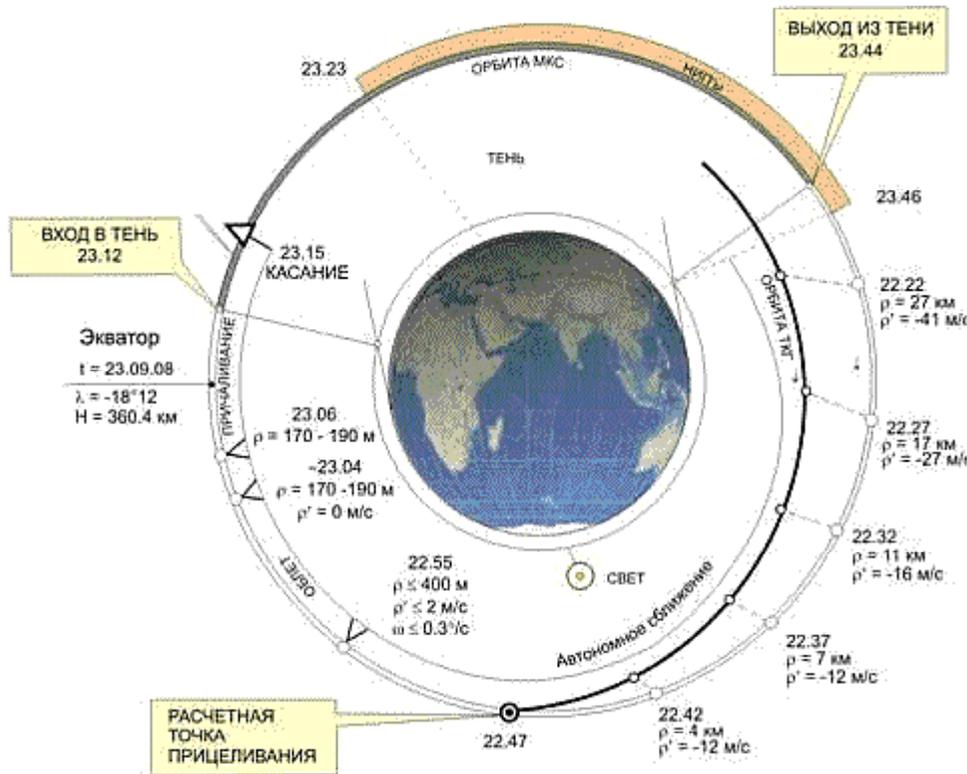


**Определение зон неустойчивой
работы измерительного
комплекса "Курс" при сближении
и стыковке космических
кораблей с Международной
космической станцией**

В.В. Сазонов, Х.У. Сайгираев

Пушино 2011

Введение



- Процесс выведения КК на орбиту и стыковки с МКС занимает около 2-х суток.
- После выхода в точку прицеливания сближение и стыковка производится в автоматическом режиме.
- Для определения параметров относительного движения используется радиоизмерительная система «Курс».

Введение

- Измерительная система «Курс» построена на принципах радиолокации. В процессе сближения происходит радиообмен между МКС и КК, по результатам которого определяются параметры относительного движения.
- Излучаемый антенной системы «Курс» сигнал может затеняться элементами конструкции МКС или отражаться от них. Это приводит к появлению зон в области вокруг МКС, где присутствует переотраженный сигнал или сигнал отсутствует.

Введение



- В этих зонах возможны сбои в работе системы «Курс», которые могут привести к отключению автоматической системы стыковки.

Постановка задачи

- Требуется определить зоны в области вокруг МКС при работе системы «Курс», в которых:
 - присутствует только прямой сигнал, излученный антенной,
 - присутствуют как прямой, так и переотраженный сигналы (в этом случае надо определить интенсивность суммарного сигнала и соотношение прямого и переотраженного сигналов),
 - присутствует только переотраженный сигнал,
 - сигнал отсутствует.

Постановка задачи

- При решении задачи используются следующие допущения:
 - космическое пространство имеет степень разреженности, близкую к вакууму;
 - взаимное перемещение сближаемых объектов происходит со скоростью, много меньшей скорости света;
 - коэффициент зеркального отражения волны от элементов конструкции станции равен 1;
 - определение поля производится на расстояниях, позволяющих считать фронт волны плоским.

Метод решения задачи

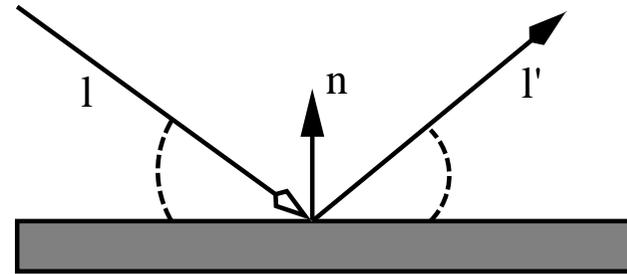
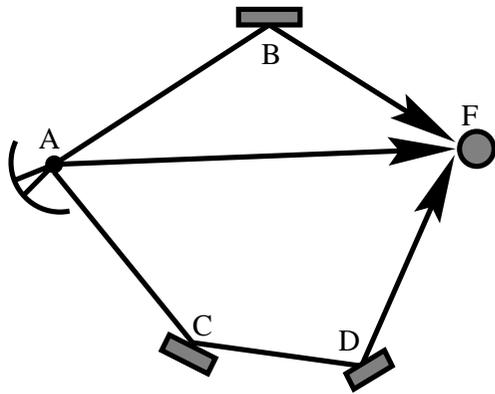
- Для решения задачи используется математическое моделирование распространения радиосигнала.
- Для моделирования распространения радиосигнала можно использовать принципы геометрической оптики:
 - Атмосфера на высоте полета МКС (337-351 км) сильно разрежена.
 - Длина волны составляет ~ 10 см.
 - Полагаем, что расстояния между точками отражения от поверхности станции двух лучей больше длины волны.

Метод решения задачи

- В результате моделирования рассчитывается оценочное значение интенсивности электромагнитных волн на наборе концентрических сфер с центром в точке расположения передающей антенны, на которых задана сетка ($0 = \varphi_0 < \varphi_1 < \dots < \varphi_n = 2\pi$, $-\frac{\pi}{2} = \theta_0 < \theta_1 < \dots < \theta_m = \frac{\pi}{2}$) в сферической системе координат, связанной с излучающей антенной.
- Радиусы сфер: 400 м – 20 км.

Метод решения задачи

- Отслеживание пути одно луча:



- Вдоль луча E меняется по закону:
- Напряженность ЭМП в точке измерения:

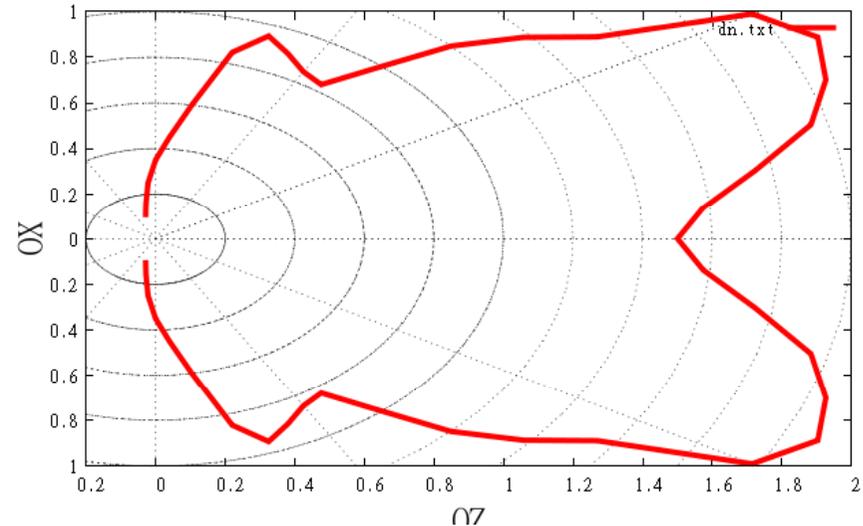
$$|E| = E_0 \cos \frac{2\pi s}{\lambda}$$

$$E_N = \sum_{i=1}^N (-1)^{p_i} \cdot E_i^0 \cos \frac{2\pi s_i}{\lambda},$$

Метод решения задачи

Генерация лучей:

- Поверхность ДН разбивается на $m \cdot n$ криволинейных прямоугольников в сферической СК.

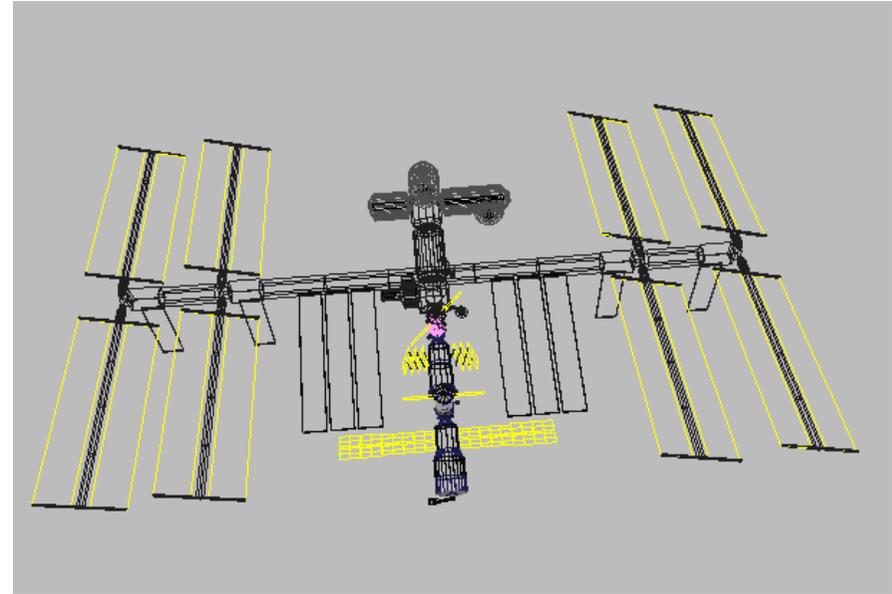


- Испускаемый луч проходит через центр выбранного прямоугольника, а его амплитуда составляет $\sqrt{2\beta_{ij}P_0}$, где $\beta_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\Sigma}$, $\Sigma = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}$.

P_0 - Номинальная мощность антенны.

Метод решения задачи

- Для нахождения пересечения лучей с элементами конструкции МКС используется геометрическая модель, состоящая из ~5 тыс. треугольных граней.

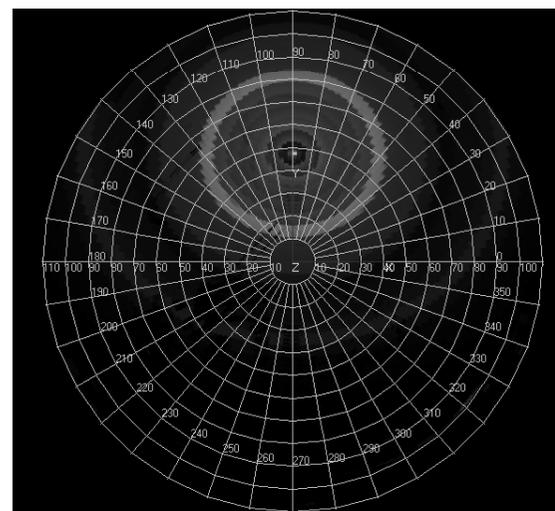
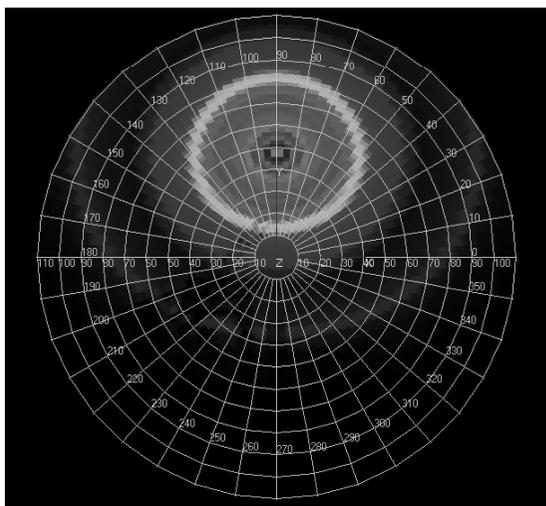
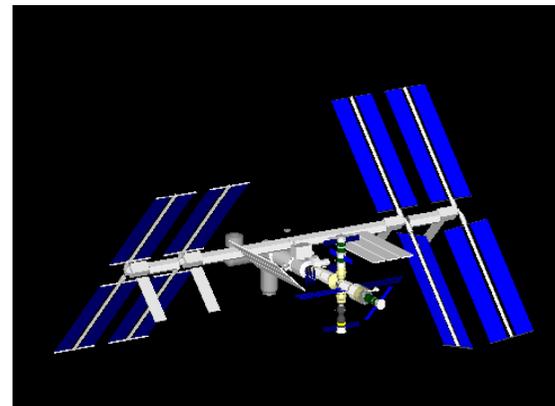
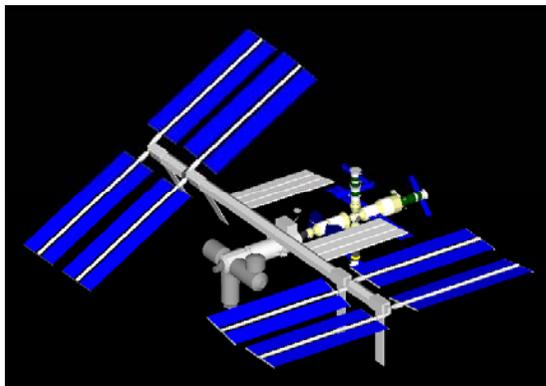


- Для оптимизации поиска пересечений лучей с гранями модели применяется метод, основанный на использовании регулярной сетки.

Программная реализация

- Предлагаемый метод был реализован программно в виде приложения для MS Windows.
- Расчет 10 млн. лучей для модели с ~5 тыс. граней на процессоре Intel Core II Duo занимает около 3-х минут.
- В 2010 году на нескольких стыковках проводились испытания разработанного программного комплекса. Результаты испытаний показали, что разработанное программное обеспечение может быть использовано для приблизительной оценки зон интенсивных переотражений, влияющих на работу аппаратуры «Курс».

Примеры расчетов



Спасибо за внимание!

- Ваши вопросы?