

# Вероятность столкновения или сближения двух космических тел

Вавилов Д.Е.

семинар ИПА РАН

16.05.2018

# Задача

Определить вероятность сближения двух космических объектов на расстояние меньше либо равное заданному,  $d$ .

- Столкновение двух искусственных спутников Земли
- Столкновение ИСЗ или КА с элементом космического мусора
- Сближение двух астероидов

Отличие от задачи Астероидно-кометной опасности:

- Орбиты двух объектов имеют ошибки.

## Мотивация

- Доклад на конференции "Околоземная астрономия 2015" Чувашовым И.Н.
- Статья Чувашов И.Н. и Авдюшев В.А. "Быстрое численное оценивание вероятности столкновения двух объектов в околоземном пространстве" // Известия высших учебных заведений. Физика. – Томск: НИТГУ, 2015. – Т. 58, №10-2. – С. 95-99.

# Подготовка к определению вероятности

- По набору наблюдений определяются вектор координат и скоростей  $\mathbf{x}_1^0$  и  $\mathbf{x}_2^0$  для объектов 1 и 2, соответственно, на соответствующие эпохи наблюдений.
- Определяются матрицы ковариации векторов  $\mathbf{x}_1^0$  и  $\mathbf{x}_2^0$ :  $\mathbf{C}_1^0$  и  $\mathbf{C}_2^0$ , которые характеризуют ошибки векторов.
- Матрицы ковариации определяют эллипсоиды рассеяния (области возможных положений объектов).
- Интегрируются орбиты двух объектов до потенциального сближения, определяются положения объектов и матрицы ковариации на интересующий момент.

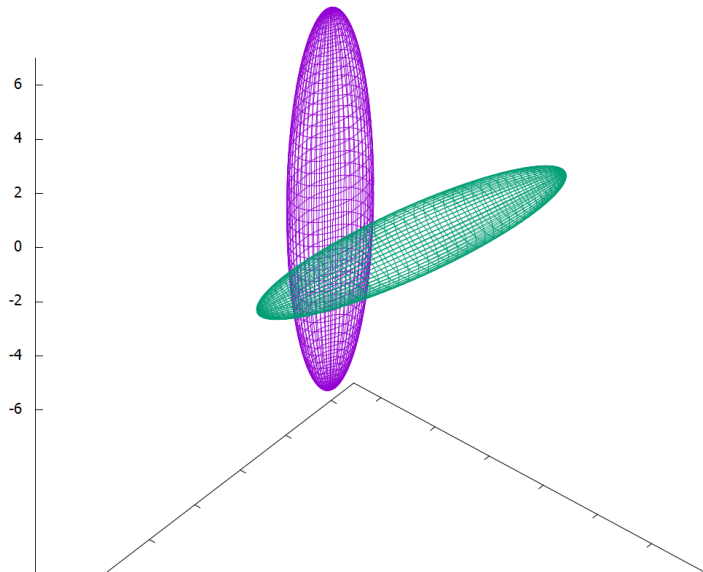
## Краткое содержание статьи

- На момент времени  $t$  определяются положение двух объектов  $\mathbf{x}_1$  и  $\mathbf{x}_2$  и матрицы ковариации  $\mathbf{C}_1$  и  $\mathbf{C}_2$ .
- Вектор разности положений  $\mathbf{x} = \mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2$
- Матрица ковариации вектора  $\mathbf{x}$  :  $\mathbf{C} = \mathbf{C}_1 + \mathbf{C}_2$
- Вероятность вычисляется:

$$\frac{1}{(2\pi)^{3/2} |\det \mathbf{C}|^{1/2}} \iiint_{B_d} e^{-\frac{1}{2} \mathbf{y}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{y}} d\mathbf{y},$$

где  $B_d$  — шар с центром в 0 и радиусом  $d$

# Визуальное представление



# Недостатки

- Сильная зависимость от момента  $t$
- Приходится двигаться с маленьким шагом и вычислять вероятность на каждом моменте времени
- Требуется много машинного времени, чтобы перебрать все пары объектов и все моменты времени в окрестности их сближений

# Плоскость цели

Плоскость цели — плоскость, перпендикулярная относительной скорости объектов.

В момент, когда расстояние между объектами становится минимальным, плоскость цели будет содержать оба объекта. В окрестности момента минимального сближения, можно считать, что оба объекта движутся прямолинейно.



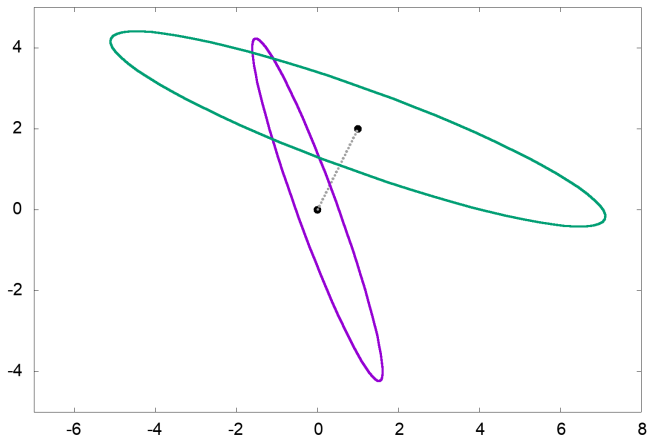
## Метод

- Определяются положение двух объектов  $\mathbf{x}_1$  и  $\mathbf{x}_2$  и матрицы ковариации  $\mathbf{C}_1$  и  $\mathbf{C}_2$  на момент минимального сближения.
- Строится плоскость цели на этот момент, содержащая оба объекта.
- Выполняется проекция положений объектов и матриц ковариации на плоскость цели:  $\hat{\mathbf{x}}_1$ ,  $\hat{\mathbf{x}}_2$ ,  $\hat{\mathbf{C}}_1$  и  $\hat{\mathbf{C}}_2$ , соответственно.
- Вектор разности  $\hat{\mathbf{x}} = \hat{\mathbf{x}}_1 - \hat{\mathbf{x}}_2$  и матрица ковариации  $\hat{\mathbf{C}} = \hat{\mathbf{C}}_1 + \hat{\mathbf{C}}_2$
- Вычисляется вероятность:

$$\frac{1}{(2\pi)^2 |\det \hat{\mathbf{C}}|^{1/2}} \iint_{S_d} e^{-\frac{1}{2} \hat{\mathbf{y}}^T \hat{\mathbf{C}}^{-1} \hat{\mathbf{y}}} d\hat{\mathbf{y}},$$

где  $S_d$  — круг с центром в 0 и радиусом  $d$

## Визуальное представление метода



# Заключение

Преимущества:

- Задается один определенный момент времени.
- Вычисляется интегральная вероятность в окрестности сближения.
- Вычисляется двойной интеграл, а не тройной.

**Заключение:**

Предложен метод для оценки вероятности сближения двух космических объектов на расстояние, меньшее заданному, который имеет вышеперечисленные преимущества по сравнению с методом, описанным в работе Чувашова, Авдюшева (2015).

**Цель:**

Публикация в научном журнале "Труды Института Прикладной Астрономии РАН"

Спасибо за внимание!