Определение формы астероида по его световым кривым

А.Л. Толстой, Ю.Д. Медведев и С.Р. Павлов
Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ

Построение формы астероида является актуальной задачей в исследовании малых небесных тел. Знание формы малого небесного тела позволяет строить модели его движения, учитывающие сложное поступательно-вращательное движение объекта как твердого тела. На сегодняшний день нам известна лишь одна открытая база данных, содержащая модели форм астероидов БД Damit (https://astro.troja.mff.cuni.cz/projects/damit/), построенных в основном по фотометрическим наблюдениям. В данной работе предложен метод аппроксимации формы астероида выпуклым многогранником.

МЕТОДИКА

Поиск возможной 3D формы ограничивался оптимизацией параметров выпуклого многогранника. Многогранники параметризовались неотрицательными площадями граней и направлениями их единичных нормалей. Для каждого фотометрического наблюдения были составлены уравнения $\mathrm{I}_j = \sum_{i=1}^{n}\left(S_i \cdot \left(\vec{n_S}\,(t_j) \cdot \vec{n_i}\,(t_j)\right)\right) \cdot \left(\vec{n_E}\,(t_j) \cdot \vec{n_i}\,(t_j)\right)$,
где j изменялись 1 до N.
Здесь N – число наблюдений,
n – число граней,
$\vec{n_S}\,(t_j)$ – единичный вектор в направлении на Солнце в момент t_j,
$\vec{n_E}\,(t_j)$ – единичный вектор в направлении на Землю в момент t_j,
$\vec{n_i}\,(t_j)$ – единичный вектор нормали к i -той грани.

$$\vec{n_i}\,(t_0) = \begin{pmatrix} \cos(\theta_i) \cdot \sin(\psi_i) \\ \sin(\theta_i) \cdot \sin(\psi_i) \\ \cos(\psi_i) \end{pmatrix}.$$

Система из N уравнений дополнялась условием замкнутости многогранника $\sum_{i=1}^{n}(S_i \cdot \vec{n_i}) = 0$ и затем методом квадратического программирования искался набор параметров (неотрицательные площади и нормали), обеспечивающие минимум суммы квадратов невязок N уравнений.

МОДЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Тестирование метода производилось с восстановлением формы тел известной формы. В качестве начального тестового тела был выбран многогранник, следующего вида:

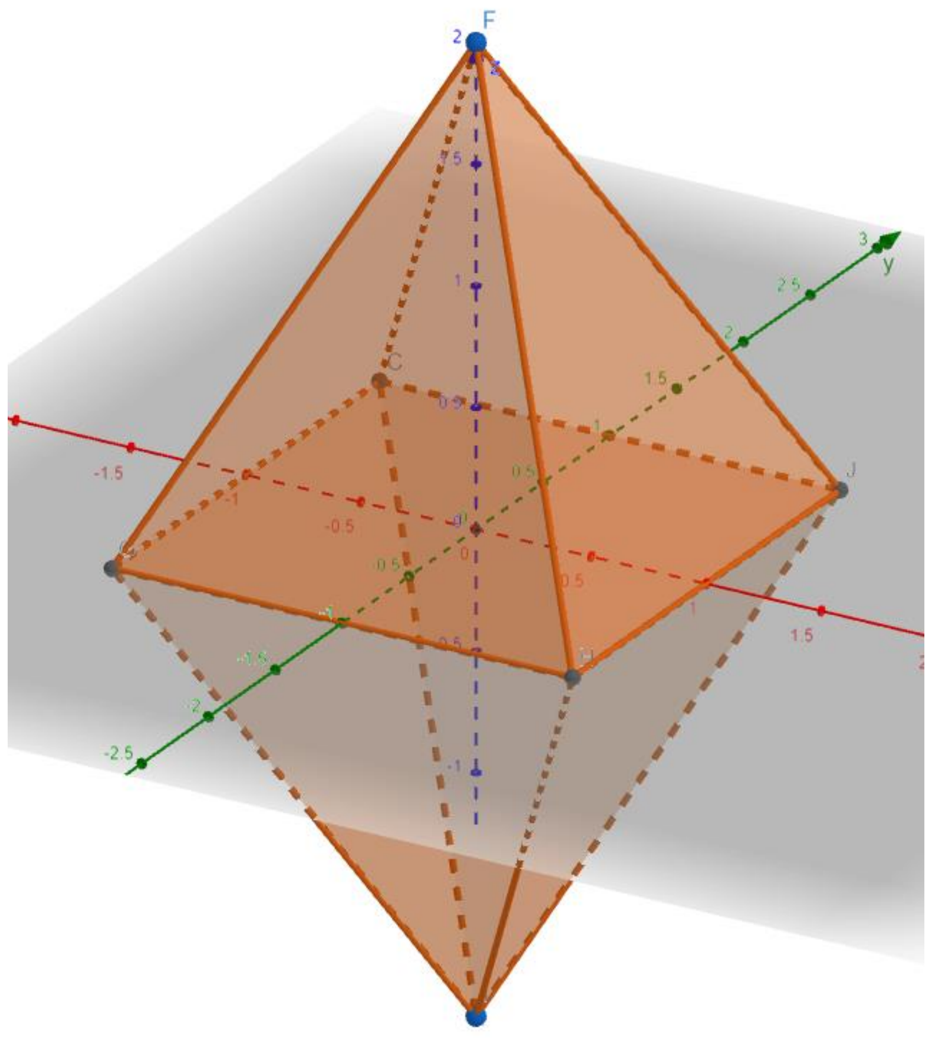

Рис. 1. *Начальное тестовое тело*

Для моделирования световой кривой многогранника, приведенного на Рис. 1, были заданы период вращения, ось вращения и постоянные направления на Солнце и на наблюдателя.
Затем была получена кривая при постоянном положении в зависимости от фазы обращения вокруг своей оси (момента времени) (см. Рис.2).

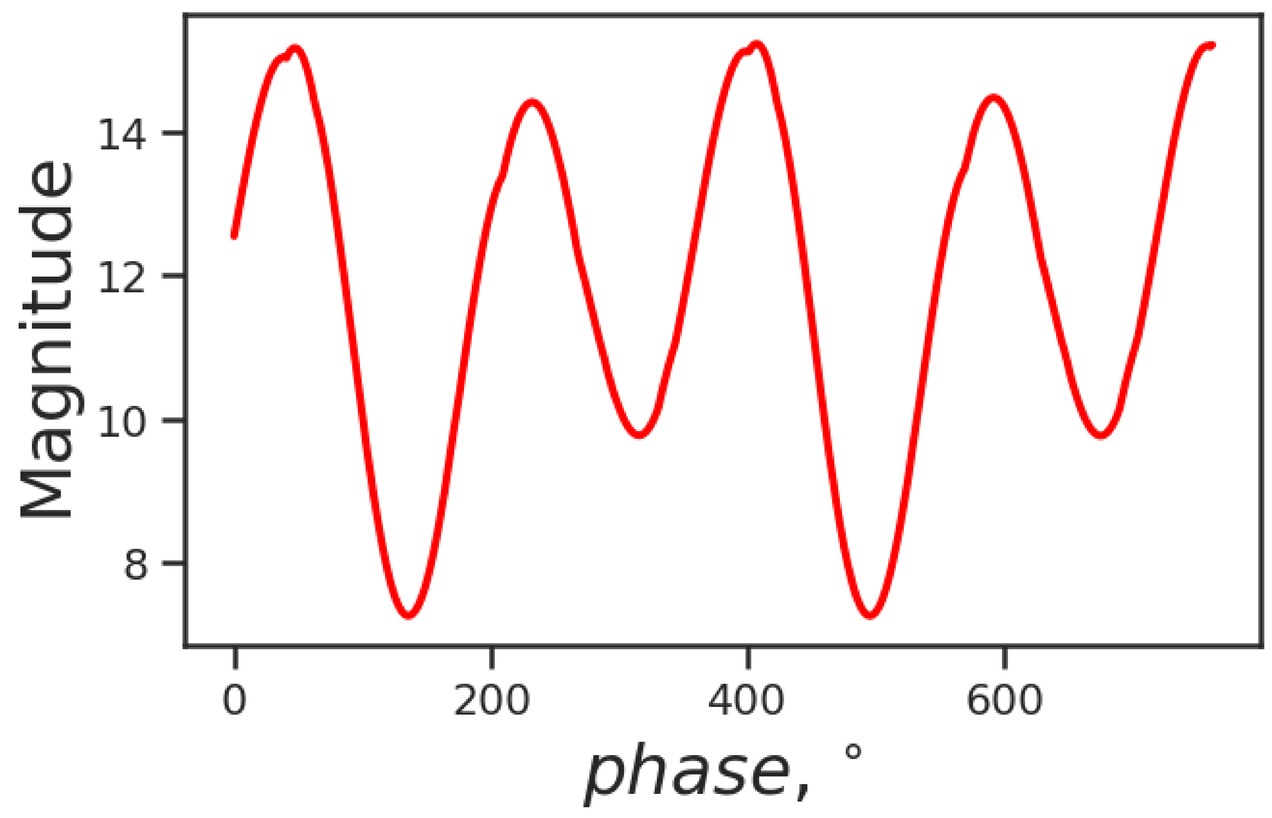

Рис. 2. *Модельная световая кривой для тестового тела*

Для дальнейшего моделирования была использована модель астероида Урания (30). В модели из БД Damit было 1007 треугольников, задающих поверхность астероида. Далее на заданные моменты времени были получены координаты объекта и Земли для расчета световой кривой с учетом изменения фазового угла от времени. Полученная на основе этих данных кривая далее аппроксимировалась многогранниками с разным числом граней. Ниже приведены проекции на картинную плоскость исходной формы из Damit и полученной по разработанной в данной работе методике. В приведенном примере в качестве начального приближения для аппроксимации фигуры использовался 50-гранник, заданный единичными площадями и нормалями распределенными по сетке Фибоначчи.

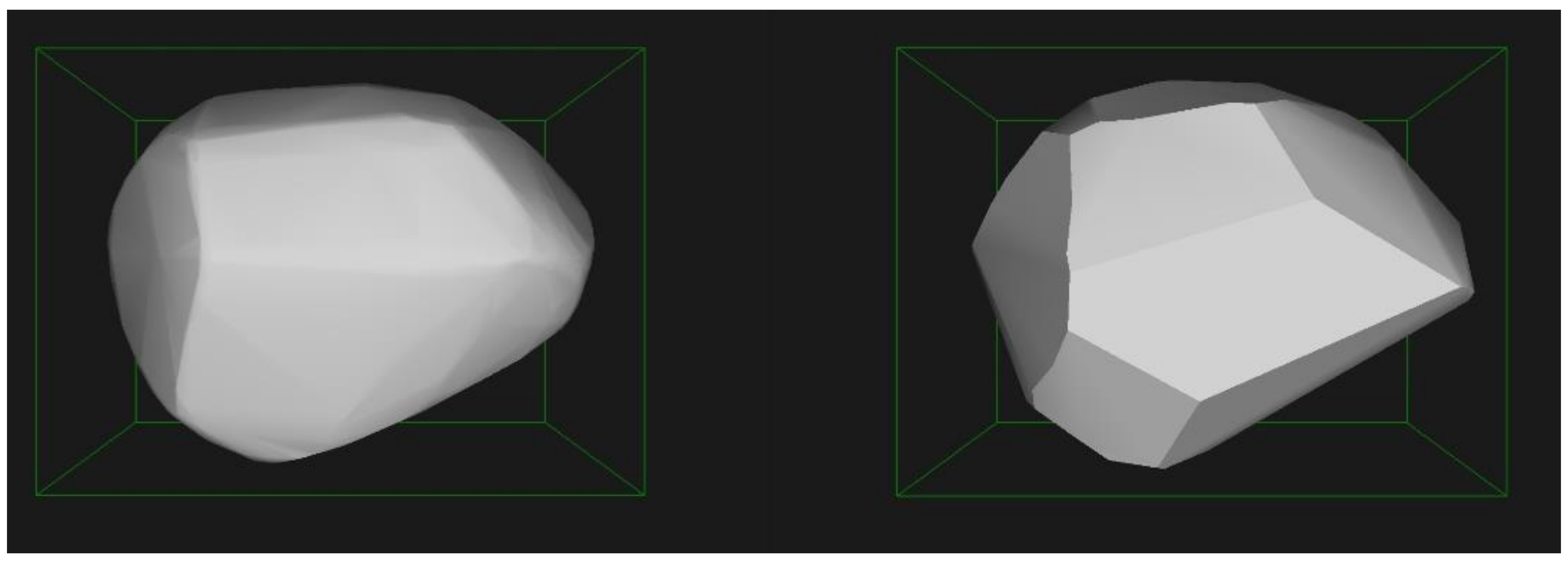

Рис. 3 *Исходная и полученная формы астероида Урания.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложен метод аппроксимации формы астероида по фотометрическим наблюдениям. В процессе построения модели формы тела определялся минимум функции, представляющей собой сумму квадратов О-С, по имеющимся для астероида световым кривым, при этом определялись площади и единичные нормали сторон многогранника. Количество сторон, период и направление оси вращения астероида определялись в результате работы алгоритма по глобальному минимуму функции по всем наблюдениям. Затем по алгоритму, приведенному в статье [1], производилась реконструкция формы по полученным площадям граням и координатам нормалей.

Надежность метода проверялась при восстановлении формы модельных многогранников, для которых строились синтетические световые кривые. Показано, что на качество восстановления формы во многом влияет количество и точность наблюдений, полученных при разных фазовых углах. В дальнейшем планируется проверка метода на реальных световых кривых астероидов с имеющимися данными о форме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Sellaroli G. An algorithm to reconstruct convex polyhedra from their face normals and areas //arXiv preprint arXiv:1712.00825. – 2017.

tolstoy@iaaras.ru