

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физический факультет
Кафедра астрономии и космической геодезии

ДОПУСТИТЬ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ГЭК
Руководитель ООП
д-р.ф.-м.н., профессор



О.Н. Чайковская

« 11 » июня 2020 г.

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах подготовленной научно – квалификационной работы
(диссертации)

**СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОРБИТАЛЬНОЙ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В СИЛЬНО НЕЛИНЕЙНЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧАХ
АСТЕРОИДНОЙ ДИНАМИКИ**

по основной образовательной программе подготовки научно-педагогических кадров в
аспирантуре
направление подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия

Баранников Егор Андреевич

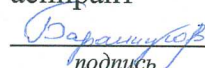
Научный руководитель
д.ф.-м.н, профессор



В.А. Авдюшев
подпись

« 11 » июня 2020 г.

Автор работы
аспирант



Е.А. Баранников

подпись

Наблюдения астероидов отягощены случайными ошибками. Поэтому при определении астероидной орбиты из наблюдений представляется возможным получить орбитальные параметры небесного тела лишь приближенно и сформировать в параметрическом пространстве так называемую доверительную область, которая с некоторой заданной вероятностью может содержать точку, соответствующую истинным значениям параметров[1].

В линейной обратной задаче (когда параметры и модельные представления наблюдений связаны линейно) доверительная область представляет собой многомерный эллипсоид, который описывается ковариационной матрицей параметрических ошибок. Все обратные задачи орбитальной динамики — нелинейны. Если нелинейность слабая, то для формирования доверительной области еще может быть использована ковариационная матрица, в противном случае — нет.

Проблема сильной нелинейности возникает в тех задачах, где доверительная область принимает протяженные размеры, т.е. когда орбита определяется плохо вследствие малого числа наблюдений. Масштабное распределение виртуальных объектов доверительной области (в особенности периферийных) очень сильно подвергается влиянию нелинейности, так что область может значительно отличаться от эллипсоидальной в линейном приближении.

При построении доверительной области движения астероида важную роль играет предварительная оценка степени нелинейности обратной задачи. Для этого применяют так называемые показатели (или коэффициенты) нелинейности. Все они, по сути, являются мерой смещения некой величины обратной задачи от ожидаемого линейного аналога в той или иной точки параметрического пространства. Значение показателя нелинейности сопоставляют с некоторым пороговым значением [2-4]: если оно меньше порогового, для построения выбирают линейные методы, иначе — нелинейные. Некоторые авторы в качестве такого порогового значения рекомендуют $\chi^* = 0.1$.

В отличие от линейных методов (с использованием ковариационной матрицы), нелинейные методы очень трудоемки и обычно реализуются посредством многократного решения обратной задачи на множестве выборок с зашумленными наблюдениями. В результате формируется облако виртуальных объектов, заполняющих доверительную область. Поэтому, когда это возможно и обосновано, исходя из показателей нелинейности, предпочтительнее все же прибегать к более простым и быстрым линейным методам.

В настоящей работе автором совместно с научным коллективом была предпринята попытка обобщить результаты по построению различных показателей нелинейности. При этом значительное внимание уделяется исследованию новых показателей, предлагаемых для оценивания эффективности способов улучшения состава наблюдений, таких как отбраковка и введение весовых матриц. Разработанные методы тестировались в задаче определения вероятности столкновения астероида с Землей.

Проведено сравнение нескольких стохастических методов построения доверительной области для оценки вероятности столкновения астероида с Землей. Показано, что

точечное (или дискретное) представление границы доверительной области, позволяет получить более достоверный результат при значительно меньшем количестве точек.

Определенный интерес представляет исследование свойств метода Ньютона, применительно к задаче нелинейного отображения точек доверительной области на ее граничную поверхность. Для расчетов были выбраны один модельный и пять реальных астероидов: 2001VB, 2004LYS, 2007FT3, 2009SN и 2010XA68, наблюдавшихся в одном появлении на малой мерной дуге. Следовательно, доверительные области всех этих объектов заведомо не эллипсоидальны и отображения на граничную поверхность должны быть нелинейными. Проведенное исследование выявило особенности применения метода Ньютона, а также других итерационных схем для нахождения точек граничной поверхности доверительной области в нелинейном случае. Показано, что точки, лежащие в параметрическом пространстве в малой окрестности НК-оценки параметров орбит, а также в области, где целевая функция резко возрастает в направлении от НК-оценки, являются особыми. При отображении этих точек на граничную поверхность итерационный процесс метода Ньютона становится численно неустойчивым. Эффективным способом решения задачи в этом случае является комбинированный способ, включающий в себя метод дихотомии и демпфированный метод Ньютона.

Точность построения доверительной области существенно зависит от качества используемой для ее построения выборки наблюдений, часть из которых может содержать недопустимо большие систематические ошибки. Следствием этого могут оказаться большие размеры доверительной области и ее смещение в фазовом пространстве параметров движения астероидов. Отбраковка наблюдений, содержащих систематику, позволяет улучшить исходную выборку. С этой целью обычно оценивают невязки «О – С» [5-6]. Правильно выполненная отбраковка значительно уменьшает как систематическое смещение доверительной области, так и ее размеры.

Чем больше доля наблюдений с систематическими ошибками в общем количестве наблюдений, тем большим будет смещение параметров номинальных орбит и доверительных областей, определяемых по данным всех наблюдений, относительно точных, неизвестных нам, параметров орбиты. Можно также отметить, что максимальный уровень систематических ошибок наблюдений, при котором отбраковка имеет смысл, должен быть больше одной десятой от суммарной ошибки наблюдений. В ряде случаев, в зависимости от распределения случайных ошибок, могут быть отклонения от этого уровня. В целом, влияние систематических ошибок на точность построения вероятностных областей является достаточно сложным, но оно может быть исследовано при помощи предложенных в работе показателей эффективности отбраковки наблюдений.

На примере модельного астероида экспериментально показано, что введение весовых множителей позволяет заметно уменьшить размеры доверительной области, которая также накрывает точку истинного динамического состояния астероида в параметрическом пространстве. Следует отметить, что выбор весовых множителей для сближающегося с Землей астероида обусловлен снижением точности его наблюдений при приближении к

Земле. Для таких объектов выбор лучших весовых множителей представляет собой более сложную задачу, чем, например, в случае объектов, имеющих несколько разных по точности групп наблюдений.

К сожалению, не всегда удастся уменьшить нелинейность задачи оценивания ниже порогового значения χ^* . Но даже в этом случае, если значение показателя нелинейности оказывается внутри диапазона $0.01 < \chi < 0.3$, можно ограничиться применением линейного подхода для построения доверительной области. Предлагаемая в работе методика позволяет приподнять планку применимости линейного подхода в задаче построения доверительной области до уровня нелинейности $\chi \approx 0.3$. Чтобы иметь представление о проблеме сильной нелинейности для астероидов, наблюдавшихся в одной оппозиции, выполнена оценка нелинейности обратной задачи для 483 таких астероидов. Все рассмотренные объекты относятся к группе потенциально опасных астероидов (www.minorplanetcenter.net/). Оказалось, что нелинейность для подавляющего большинства из них меньше порогового значения $\chi^* = 0.1$. При этом для 347 астероидов $\chi < 0.01$, для 85 астероидов нелинейность находится в интервале $0.01 < \chi < 0.1$, и только для 51 астероида она выше порогового значения. Именно эта группа астероидов была наиболее интересна для тестирования предложенной выше методики аппроксимации доверительной области эллипсоидом и, как следствие, сведение для них нелинейной задачи оценивания к линейной.

Результаты исследований опубликованы в 8 статьях из Перечня ВАК, индексируемых в Scopus и Web of Science, доложены на 6 международных конференциях. Материалы диссертации были использованы при выполнении 3 научно-исследовательских проектов.

Все представленные в диссертации результаты получены, обработаны и проанализированы при непосредственном участии автора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А. // Астрон. вестн. – 2012. – Т. 46. – № 3 – С. 209–222.
2. Черницов А.М., Дубас О.М., Тамаров В.А. // Изв. вузов Физика. – 2006. – № 2. – С. 44–51.
3. Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А. // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та: сб. науч. тр. Красноярск. – 2011. – Вып. 6(39) – С. 15–20.
4. Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А. // Изв. вузов Физика. – 2012. – № 10/2. – С. 27–33.
5. Черницов А.М., Батурин А.П. // Астрон. вест. 2001. Т. 4. Вып. 35. С. 357–368.
6. Галушина Т.Ю., Кайзер Г.Т., Скрипниченко П.В. // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2013. № 4. Т. 3. С. 57–62.

Поиск заимствований в научных текстах^β[\(/index.php/ru/\)](/index.php/ru/) [\(/index.php/en/\)](/index.php/en/)

Введите текст:

...или загрузите файл:

Файл не выбран...

Выбрать файл...

Укажите год публикации: 2020 ▾

Выберите коллекции

Все

Рефераты

Авторефераты

Иностранные конференции

PubMed

Википедия

Российские конференции

Иностранные журналы

Российские журналы

Энциклопедии

Англоязычная википедия

Анализировать

[Проверить по расширенному списку коллекций системы Руконтекст \(http://text.rucont.ru/like\)](http://text.rucont.ru/like)

Обработан файл:

НД_Бараников Е.А..pdf.

Год публикации: 2020.

Оценка оригинальности документа - 100.0%

Процент условно корректных заимствований - 0.0%

Процент некорректных заимствований - 0.0%

[Просмотр заимствований в документе](#)

Время выполнения: 6 с.

Заимствования отсутствуют



100.00%

[Дополнительно](#)