

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

ФИЗИКА-ТЕХНИКА ФАКУЛЬТЕТІ

**«ФИЗИКАДАҒЫ ЗАМАНАУИ ТЕНДЕНЦИЯЛАР: ҒЫЛЫМ МЕН БІЛІМ
ИНТЕГРАЦИЯСЫ»**

Халықаралық ғылыми конференциясының материалдары

**«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ФИЗИКЕ: ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ И
ОБРАЗОВАНИЯ»**

Материалы международной научной конференции

«MODERN TRENDS IN PHYSICS: INTEGRATION OF SCIENCE AND EDUCATION»

Materials of the international scientific conference

Астана, 2024 ж

ОӘЖ 53.(075)
Н90

Редакциялық кеңес:

Е.Б. Сыдықов, С.Б.Мақыш, Ж.М.Құрманғалиева, Д.Р.Айтмағамбетов,
Л.Т.Нуркатова, Н.Г.Айдарғалиева

Ә43 Физикадағы заманауи тенденциялар: ғылым мен білім интеграциясы:
Халықаралық ғылыми конференциясының материалдары (2024 жылдың 23 ақпаны, Астана, Қазақстан). – Астана: Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ баспасы, 2024. – 555 б.

ISBN 978-601-337-957-9

«ФИЗИКАДАҒЫ ЗАМАНАУИ ТЕНДЕНЦИЯЛАР: ҒЫЛЫМ МЕН БІЛІМ ИНТЕГРАЦИЯСЫ» атты Халықаралық ғылыми-теориялық конференция материалдар жинағына кәсіптік-техникалық білім беруді жетілдіруде «Космологияның қазіргі мәселелері», «Техниканың дамуындағы физиканың рөлі», «Ядролық физика, жаңа материалдар мен технологиялар», «Радиоэлектроника мен телекоммуникацияның қазіргі даму тенденциялары», «Ғарыштық техника мен технологияларды дамытудың озық бағыттары», жоғары оқу орындарындағы кәсіби педагогика проблемалары «Университетте физика және астрономия білімінің даму тенденциялары», «Орта мектепте физиканы оқытудың тиімді педагогикалық технологиялары», «Жаратылыстану пәндері бойынша мұғалімдерді даярлау жүйесіндегі инновациялар», «Қазіргі ақпараттық және коммуникациялық технологиялар» және оларды шешу әдістері мен жолдары қарастырылған мақалалар жарияланған.

ОӘЖ53.(075)

КБЖ 22.3я73

ISBN 978-601-337-957-9

© Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, 2024

Конференция, 2014, стр. 940–946.

3. Т. Браун, С. Раатц, С. Вогес, Р. Кале, В. Бадер, Дж. Бауэр и др., “Компрессионное формование большой площади для корпуса на уровне разветвленных панелей”, 65-й электронный выпуск. Компонент. Технология. Конференция, 2015, стр. 1077-1083

ҒАРЫШТЫҚ ТЕХНИКА МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ДАМЫТУДЫҢ ОЗЫҚ БАҒЫТТАРЫ / ПЕРЕДОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Ашуров А.Е., к.ф.-м.н.

Заведующий кафедрой «Космическая техника и технологии» ЕНУ им.Л.Н. Гумилева

О СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗА МАНЕВРАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Аннотация. Быстрое увеличение числа спутников на орбитах значительно увеличило вероятность столкновений и значительно повысило риск появления новых элементов космического мусора. Соответственно, чтобы избежать столкновения, придется совершить большое количество маневров. В этой ситуации важно не только вовремя спрогнозировать вероятность столкновения и осуществить маневры уклонения, но и проанализировать результаты этих маневров. Сегодня действия государств, участвующих в освоении космического пространства, регулируются международными нормами, в том числе Руководящими принципами по предотвращению образования космического мусора. Выполнение этих требований связано с управлением своим космическим аппаратом путем выполнения необходимых маневров. Соответственно, для контроля выполнения этих требований необходим сервис мониторинга маневров спутников. Однако для снижения вероятности появления нового элемента космического мусора недостаточно создать такую службу. Необходимо разработать некоторые правила движения (поведения) спутников в космическом пространстве по аналогии с правилами движения в земных условиях. Так, в данной работе предлагается создать сервис мониторинга маневров спутников и разработать «правила движения» космических аппаратов. Тогда эти правила можно было бы включить в международно-правовые документы на уровне ООН. Для создания такого сервиса необходим эффективный метод обнаружения маневра и расчета его параметров. Недавно эффективный метод обнаружения маневров спутников LEO на основе данных TLE был предложен автором настоящей работы. Однако этот метод можно применить и к спутникам на геостационарной орбите после соответствующей адаптации. Метод применен для анализа маневров Китайской космической станции (ККС) и спутника Starlink-1095 во время их сближения 1 июля 2021 г., а также ККС и Starlink-2305 во время их сближения 21 октября, 2021. Метод имеет ряд преимуществ перед другими методами, предназначенными для обнаружения маневров. Вычислительные испытания этого метода показали, что для 1000 спутников время обработки данных TLE для двух эпох составляет около 1 секунды. Это показывает, что на основе данного алгоритма можно создать сервис мониторинга маневров спутников.

Ключевые слова: космический мусор; столкновение спутников; обнаружение маневра; двухстрочный элемент; сервис мониторинга маневров спутников; правила движения космических аппаратов.

Ведение

Быстрое увеличение количества космических аппаратов на околоземной орбите значительно увеличило вероятность столкновений и значительно повысило риск появления новых элементов космического мусора. Кроме того, это привело к увеличению количества

выполняемых маневров. Т. Пултарова утверждает, что спутники Starlink компании SpaceX были вынуждены отклоняться более 25 000 раз в период с 1 декабря 2022 года по 31 мая 2023 года, чтобы избежать потенциально опасных сближений с другими космическими кораблями и орбитальным мусором [1]. Кроме того, она приводит мнение Хью Льюиса, профессора астронавтики Саутгемптонского университета в Великобритании и ведущего эксперта по влиянию мегасозвездий на орбитальную безопасность: «Если мы ожидаем, что к концу этого десятилетия число активных спутников достигнет до 100 000, то я подозреваю, что количество маневров, которые в совокупности будут совершать все операторы космических аппаратов, будет просто огромным. Вы совершаете маневры, чтобы смягчить события высокого риска, но это все равно, что ехать по шоссе и сворачивать каждые 10 метров, чтобы избежать столкновения. Возможно, это небезопасно».

Разумеется, количество спутников будет и дальше увеличиваться, и соответственно увеличится и количество выполняемых маневров. Это, в свою очередь, приведет к увеличению количества столкновений спутников и образованию новых элементов космического мусора. Возникает вопрос: можно ли контролировать эти маневры, может быть, нужно разработать какие-то правила?

1. Международное космическое право

Сегодня в целях предотвращения увеличения космического мусора действия государств, участвующих в освоении космического пространства, регулируются международными правилами. Например, Международное космическое право: Инструменты Организации Объединенных Наций [2]. В этот документ входят договоры Организации Объединенных Наций, принципы, принятые Генеральной Ассамблеей, соответствующие резолюции, принятые Генеральной Ассамблеей, и другие документы, включая Руководящие принципы по предотвращению образования космического мусора Комитета по использованию космического пространства в мирных целях. В последнем документе говорится, что Межагентским координационным комитетом по космическому мусору (МККМ) был разработан набор руководящих принципов по смягчению последствий космического мусора, отражающих фундаментальные элементы по смягчению последствий ряда существующих практик, стандартов, кодексов и справочников, разработанных рядом национальных и международных организаций. Вот некоторые из них.

Руководящий принцип 3: Ограничить вероятность случайного столкновения на орбите.

При разработке конструкции и миссии полета космических аппаратов и ступеней ракет-носителей следует оценивать и ограничивать вероятность случайного столкновения с известными объектами на этапе запуска системы и времени ее пребывания на орбите. Если имеющиеся орбитальные данные указывают на потенциальное столкновение, *следует* рассмотреть возможность корректировки времени запуска или *маневра уклонения на орбите*.

Руководящий принцип 4: Избегать преднамеренного уничтожения и других вредных действий.

Признавая, что повышенный риск столкновения может представлять угрозу для космических операций, следует избегать преднамеренного разрушения любых находящихся на орбите космических кораблей и орбитальных ступеней ракет-носителей или других вредных действий, которые приводят к образованию долгоживущего мусора.

Руководящий принцип 6: Ограничить долгосрочное присутствие орбитальных ступеней космических аппаратов и ракет-носителей в районе низкой околоземной орбиты (НОО) после окончания их миссии.

Космические аппараты и орбитальные ступени ракет-носителей, завершившие этапы эксплуатации на орбитах, проходящих через район НОО, должны быть контролируемым образом убраны с орбиты. Если это невозможно, их следует размещать на орбитах, исключая их длительное присутствие в регионе НОО. При принятии решений относительно потенциальных решений по удалению объектов с НОО следует уделять должное

внимание обеспечению того, чтобы мусор, который уцелел и достиг поверхности Земли, не представлял неоправданного риска для людей или имущества, в том числе из-за загрязнения окружающей среды, вызванного опасными веществами.

Эти руководящие принципы определяют обязанности участников космической деятельности. Выполнение этих требований связано с управлением своим космическим аппаратом путем выполнения необходимых (или нежелательных) маневров. Соответственно, для контроля выполнения этих требований необходим **сервис мониторинга маневров спутников**. Подобный сервис позволит практически в режиме онлайн анализировать поведение всех спутников. Речь идет не только об определении положения спутников в пространстве и вектора их скорости, но и об оценке действий операторов этих спутников. Это достигается путем обнаружения маневров (если они выполняются), определения параметров этих маневров, а также определения изменений элементов орбиты.

Для решения этой задачи недостаточно иметь временной ряд вектора состояния спутника. Для этого необходим эффективный метод обнаружения маневра и расчета его параметров.

Однако для снижения вероятности появления нового элемента космического мусора недостаточно создать такую службу. Возможно, необходимо разработать правила движения (поведения) спутников в космическом пространстве.

Для лучшего понимания можно рассмотреть пример в земных условиях. Известно, что в наземных условиях для минимизации количества дорожно-транспортных происшествий для всех видов транспортных средств (автомобильных, железнодорожных, морских, воздушных и др.) существуют правила дорожного движения. Существуют системы контроля за выполнением этих правил, такие как дорожные камеры, датчики или видеорегистраторы, которые некоторые водители сами устанавливают в свой автомобиль. Эти системы позволяют контролировать поведение участников дорожного движения.

Разработка подобных «правил движения» для космических аппаратов позволила бы регулировать движение космических аппаратов на орбите и это снизило бы вероятность их столкновений. Тогда эти правила можно было бы включить в международно-правовые документы на уровне ООН.

Так, в данной работе предлагается создать сервис мониторинга маневров спутников и разработать «правила движения» космических аппаратов.

2. Алгоритм сервиса

Но тогда возникает вопрос: по какому алгоритму должен действовать этот сервис?

Как отмечалось в разделе «Введение», для создания сервиса мониторинга маневров спутников необходим эффективный метод обнаружения маневра и расчета его параметров.

В [3] предложен эффективный метод обнаружения маневров спутников LEO (НОО) на основе данных TLE. Однако этот метод можно применить и к спутникам на геостационарной орбите после соответствующей адаптации. Поскольку для применения этого метода необходимы только данные TLE, предлагаемый сервис дает результат практически сразу, как только элементы TLE обновляются для спутника. Результатом работы сервиса станут сообщения с подробностями маневра и изменениями элементов орбиты этого спутника.

Поскольку обнаружение маневра и расчет параметров маневра основаны на использовании данных TLE, предполагается, что сервис должен иметь источник этих данных. Например, это могут быть сайты Celestrak [4]. В то же время Космическое командование США (USSPACECOM) является правительственным учреждением США, ответственным за осведомленность о космической сфере (SDA) и осведомленность о космической ситуации (SSA) [5], и оно обменивается информацией SDA. Услуги включают оценку сближения при запуске, поддержку запуска и ранней фазы орбиты, оценку сближения на орбите, предотвращение столкновений, поддержку аномалий, поддержку по окончании срока службы / утилизации, поддержку при сходе с орбиты и оценку повторного входа в атмосферу. Эти

услуги доступны всем операторам активных космических аппаратов на базовом аварийном уровне и на продвинутом уровне для организаций, подписавших соглашения о совместном использовании SSA с USSPACECOM. Основные данные SSA распространяются по всему миру через веб-сайт www.space-track.org, который доступен каждому, у кого есть зарегистрированная учетная запись пользователя. USSPACECOM делегировало управление программой совместного использования SSA Командованию космического компонента объединенных сил (CFSCC). Поэтому предпочтительнее создавать данный сервис совместно с CFSCC.

3. Результаты тестирования алгоритма определения маневров

Метод применен для анализа маневров Китайской космической станции (ККС, NORAD ID 48274) и спутника Starlink-1095 (NORAD ID 44971) во время их тесного сближения 1 июля 2021 г., а также КСС и Starlink- Спутник 2305 (NORAD ID 47989) во время их близкого сближения 21 октября 2021 г. [3].

Мы установили, что в период с 30 июня (181-й день) по 4 июля (185-й день) 2021 года КСС выполнила 9 маневров уклонения, чтобы избежать потенциального столкновения. Из них 4 являются значимыми маневрами. При этом максимальное изменение по большой полуоси достигало 810 метров. За это же время спутник Starlink-1095 совершил 5 значительных маневров, а максимальное изменение большой полуоси достигло 2845 метров.

Второй инцидент произошел 21 октября 2021 года, когда спутник Starlink-2305 имел последующее тесное сближение с ККС. За период с 19 октября (292-й день) по 22 октября (295-й день) 2021 года КСС выполнило 10 различных маневров уклонения, а максимальное изменение большой полуоси достигло 2537 метров. За это же время спутник Starlink-2305 совершил 8 маневров, а максимальное изменение большой полуоси достигло 4045 метров.

4. Выводы

Чтобы показать возможности этого метода для мониторинга, мы оценили сложность этого алгоритма. Для этого были оценены время выполнения расчетов для спутника TIANHUI-1 в 2011 году. Расчеты проводились на компьютере с оперативной памятью 4 ГБ и частотой процессора 1,8 ГГц и обрабатывались исторические данные TLE за 1221 эпоху. Время расчета составило 0,548 секунды, т.е. среднее время обработки данных TLE за эпоху составляет примерно 0,449 мс. Время на чтение данных TLE, вывод результатов в файл и построение графиков заняло дополнительно 1,049 секунды. Таким образом, общее время составило 1,597 сек. Эти расчеты показывают, что предложенный алгоритм действительно может обрабатывать текущие данные TLE для большого количества спутников практически в реальном времени. Например, для 1000 спутников время обработки данных TLE для двух эпох составляет примерно 1 секунду.

Все это показывает, что на основе данного алгоритма можно создать сервис мониторинга маневров спутников.

Литература:

1. T. Pultarova, SpaceX Starlink satellites had to make 25,000 collision-avoidance maneuvers in just 6 months – and it will only get worse. 06 July 2023, <https://www.space.com/starlink-satellite-conjunction-increase-threatens-space-sustainability>, (accessed 03.09.23).
2. International Space Law: United Nations Instruments. United Nations. Office for Outer Space Affairs, New York, 2017.
3. A.E. Ashurov, An effective method for detecting satellite orbital maneuvers and its application to LEO satellites, *Advances in Aircraft and Spacecraft Science*. 9, 4 (2022) 279-300. <https://doi.org/10.12989/aas.2022.9.4.279> .

4. Dr. T.S. Kelso, CelesTrak, <https://celestrak.org>, (accessed 06.09.23).
5. Spaceflight Safety Handbook for Satellite Operators, 18th & 19th Space Defence Squadron, Combined Force Space Component Command, California, USA, 2023.

**Магистрант Манаспекова Диана Шадиарқызы
Ф.-м.ғ.к. Ашуров Абдикул Еркулович**

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы

ҒАРЫШТЫҚ АППАРАТТЫҢ ЕКІ ҚАТАРЛЫ ЭЛЕМЕНТТЕРІН ОНЫҢ КҮЙ ВЕКТОРЫ АРҚЫЛЫ АЛУ

Андатпа

Мақалада ғарыш аппараттарының екі қатарлы элементтерін оның күй векторына сәйкес алу әдістемесі сипатталған. Ұсынылған тәсіл астрофизикалық бақылауларға, математикалық аппараттарға және компьютерлік есептеулерге негізделген. Әдістеме орбитаны автоматтандырылған есептеу және екі қатарлы элементтерді қалыптастыру үшін аналитикалық және сандық әдістерді біріктіреді. Ұсынылған шешім ғарыштық пайдалану мен қорғанысты қоса алғанда, ғарыш кеңістігін бақылау және талдау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Кілт сөздер: екі қатарлы элементтер (TLE), күй векторы, компьютерлік бағдарлама (MATLAB), жылдамдық векторы, классикалық орбиталық параметрлер.

Кіріспе

Ғарыш аппараттарының екі қатарлы элементтері (TLE) бүгінде олардың қозғалысын сипаттайтын және көпшілікке жария етілетін бірыңғай ақпарат болып табылады. Ол элементтерді анықтау және интернет порталында жариялаумен АҚШ әскери күштері шұғылданады. Сондықтан мұндай деректер тек құпиялылық объектілері болып табылмайтын ғарыш аппараттары үшін жарияланады. Арнайы құпия ғарыш аппараттары үшін мұндай деректер ашылмайды. Осыған байланысты мұндай ғарыш аппараттарының траекториясын бақылау, сондай-ақ алдын ала есептеулер белгілі бір қиындықтарды тудырады. Алайда, бұл мәселені астрофизикалық бақылаулар арқылы шешуге болады.

Егер тиісті ғарыш кемесі телескоппен бақыланса және оның орбиталық деректері анықталса, оның күй векторын есептеуге болады. Әрі қарай, ғарыш аппаратының екі қатарлы элементтерін оның күй векторы арқылы алу әдістемесін әзірлеу қажет. Бұл әдіс Қазақстан аумағынан ұшатын белгісіз ғарыш аппараттарының орбитасын есептеуге мүмкіндік береді.

Зерттеу әдістері:

Қойылған мақсаттарға жету үшін аналитикалық және сандық әдістерді қамтитын математикалық аппарат қолданылады. Бұл зерттеудің негізгі қадамы-ғарыш аппараттарының күй векторы негізінде есептеулер жүргізетін және оның орбитасының екі қатарлы элементтерін құрайтын компьютерлік бағдарламаны жасау.

Аналитикалық әдістер ғарыштағы ғарыш аппараттарының қозғалысын сипаттайтын математикалық модельдерді шығаруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, есептеу процесінде пайда болатын күрделі дифференциалдық теңдеулерді шешу үшін сандық әдістер қолданылады.

Зерттеудің негізгі кезеңі-ғарыш аппаратының күй векторына негізделген орбитаның екі қатарлы элементтерін алу процесін автоматтандыруға қабілетті компьютерлік бағдарламаны құру. Бұл деректерді талдау процесін едәуір жылдамдатады және нәтижелердің дәлдігін арттырады.

Негізгі бөлім