

УДК 629.783, 521.182

DOI: 10.17223/00213411/64/8/168

А.Г. АЛЕКСАНДРОВА, В.А. АДЮШЕВ, Н.А. ПОПАНДОПУЛО, Т.В. БОРДОВИЦЫНА

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ОКОЛОЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ В СРЕДЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ *

Представлена новая версия численной модели движения искусственных спутников Земли (ИСЗ), состоящая из четырех программных блоков, предназначенных для 1) прогноза движения ИСЗ; 2) исследования хаотичности движения околоземных космических объектов; 3) определения параметров движения ИСЗ по данным измерений; 4) исследования резонансной динамики околоземных объектов. Главная особенность новой версии – использование нового более эффективного интегратора, представляющего собой результат дальнейшего развития известного интегратора Эверхарта. Показано, что при одной и той же точности новый интегратор обладает существенно большим быстродействием. Предназначенная для использования в среде параллельных вычислений версия, называемая «Численной моделью движения систем ИСЗ», претерпела дополнительные изменения, связанные с оптимизацией процесса распараллеливания вычислений. Приведенные оценки показывают, что при новом способе распараллеливания точность интегрирования более стабильна, а скорость интегрирования возрастает в несколько раз.

Ключевые слова: численное моделирование, динамика искусственных спутников Земли, орбитальная эволюция, параллельные вычисления, интегратор *Lobbie*.

Введение

Впервые разработанная в Томске «Численная модель движения искусственных спутников Земли (ИСЗ) [1] была представлена научной общественности в 1982 г. на Объединенных научных чтениях по космонавтике. С того времени данная модель неоднократно претерпевала различные модификации, связанные с переходом на новые вычислительные средства, с выходом новых стандартов Международного астрономического союза (МАС), с разработкой новых более эффективных интеграторов, с расширением задач, решаемых численным моделированием.

В конце 90-х гг. XX в. в связи с переходом на персональные компьютеры численная модель подверглась значительной переработке и в виде, близком к существующему, была представлена в 2007 г. [2], а в 2009 г. программа перенесена [3] на кластер «СКИФ Siberia» Томского госуниверситета. В результате этого стало возможным одновременно прогнозировать движения большого числа объектов. В 2010 г. была добавлена возможность вычисления параметра MEGNO [4], предназначенного для оценки хаотичности в динамике ИСЗ. В 2017 г. проведено уточнение моделей действующих сил [5] в соответствии с рекомендациями МАС и интегратор Эверхарта [6, 7] заменен интегратором Gauss32 [8]. В 2020 г. программа была дополнена [9] возможностью вычисления в процессе численного интегрирования вековых частот, необходимых для исследования резонансной динамики околоземных объектов.

В представляемой здесь версии численной модели проведен ряд важных модификаций, которые позволили улучшить производительность программы. Основными модификациями стали замена интегратора Gauss32 [8] на более эффективный новый коллокационный интегратор *Lobbie* [10], разработанный в НИИ ПММ ТГУ, и смена способа распараллеливания.

В настоящее время численная модель существует в двух версиях: одна для персонального компьютера и другая – для кластера, которую будем называть «Численной моделью движения систем ИСЗ».

1. Структура «Численной модели движения систем ИСЗ»

Представляемая версия «Численной модели движения систем ИСЗ» содержит четыре основных программных блока, предназначенных для решения следующих задач:

- высокоточного моделирования движения ИСЗ [5];
- исследования хаотичности движения околоземных космических объектов [4, 5] (с расчетом параметра MEGNO [11, 12] по методике [13]);

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-10022).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>