

MIPE – ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.В. Сазонов, И.А. Самыловский, А.А. Филиппов, А.Ю. Комаровский

ФКИ МГУ имени М.В. Ломоносова

ivan.samylovskiy@cosmos.msu.ru

Введение

В настоящее время наблюдается устойчивый тренд на использование многоспутниковых группировок различного назначения. В России в рамках проекта «Сфера» планируется развертывание группировок навигации, связи дистанционного зондирования в различных диапазонах. Соответствующие планы анонсируются и предприятиями из состава Роскосмоса, и частными компаниями – производителями космических систем, и крупными научно-образовательными организациями.

Предпосылки разработок

С одной стороны, развитие многоспутниковых группировок естественным образом требует внедрение методов и алгоритмов быстрого построения оптимальных и суб-оптимальных стратегий управления такими системами (классическим примером, подтверждающим необходимость использования новых методов управления, является линейное масштабирование человеческих, временных и материальных затрат на «стандартное» управление одним аппаратом дистанционного зондирования), среди которых на сегодняшний день распространены мультиагентные технологии (см., например, [1,2]).

С другой стороны, для достижения ожидаемых эффектов требуется унификация моделей, методов и их программных реализаций, применяемых при создании составных частей многоспутниковых группировок (иначе мы рискуем получим не единую систему, а разрозненный набор отдельных аппаратов). С учетом естественных требований импортонезависимости возникает запрос на отечественные программные комплексы для проектных расчетов космических систем, их комплексного моделирования в ходе различных этапов жизненного цикла, а затем и управления ими.

При этом «де-факто» стандартом сценариев работы пользователя с такими комплексами является широко известный продукт Systems Toolkit (ранее – Satellite Toolkit, STK, <https://www.ansys.com/products/missions/ansys-stk>). В итоге до сих пор актуальной является задача создания, внедрения и, что немаловажно, постоянной и устойчивой технической поддержки и развития «Российского STK». Примерами (с различной спецификой решаемых задач) могут служить «Хьюстон» компании Спутникс (http://www.orbcraft3d.sputnix.ru/doku.php?id=les_01_02_01), КИАМ Astrodynamics Toolbox ИПМ имени М.В. Келдыша ([3], <https://pypi.org/project/kiam-astro/>), «Интеграл-Д» МФТИ (<https://fpi.gov.ru/projects/fiziko-tekhnicheskie-issledovaniya/integral/>).

Требования к «российскому STK»

В целом можно сформулировать следующие требования к программным комплексам, служащим российскими аналогами STK:

1. Кроссплатформенность и возможность работы на АРМ под управлением операционных систем специального назначения (в частности, AstraLinux Special Edition);

2. Универсальность – настройка диапазонов орбит, состава моделируемых средств, редактирование «нагрузки» отображения, создание и редактирование пользовательских объектов (аналог vector operations из STK) – углов отстройки, реперных направлений, плоскостей и т.д.)
3. Возможность работы как с группировкой спутников в целом, так и с узлами отдельных аппаратов.
4. «Дружественность» к сторонним средствам расчетов. Это, в частности, важно при взаимодействии со сложившимися коллективами разработчиков, в которых, как правило, имеются отлаженные в ходе многолетнего использования средства баллистических, энергетических и прочих расчетов.

Предлагаемое решение

Коллектив баллистического центра ФКИ МГУ разработал кроссплатформенный функциональный аналог STK – «интегрированную среду разработки миссий» MIDE, в которой реализованы перечисленные требования.

Основной структурной единицей MIDE является «проект», в котором перечислены следующие элементы:

1. Физические объекты – планеты, планетоиды, наземные пункты, спутники, структурные модули наземных и космических объектов и сенсоры с различными типами полей зрения;
2. Абстрактные объекты – координаты, системы координат, точки, векторы, углы, плоскости, поля видимости;
3. Абстрактные объекты – «связки» (Links), с помощью которых создаются линии связи, ограничения на фазовые координаты и т.д.;
4. Источники данных, с помощью которых организуется получение данных как минимум по движению центров масс и вращательному движению физических объектов.

Пример пары «исходный код проекта – результат запуска проекта» демонстрируется ниже. На рисунке 1 представлен типовой «проект», составленный из планет, наземных станций и спутников, оснащенных сенсорами.

```
<?xml version="1.0" ?>
<mideProject name="KMU-radio-proj" version="1.0" StartTime="Пт июл 30 11:38:20 2021 GMT" CurTime="Пт июл 30 08:48:46 2021 GMT" EndTime="Сб июл 31 11:38:20 2021 GMT">
  <dataSources>
    <dataSource key="DefaultEphemeris" type="DE430" path="../../PhysicalObjectsData/PlanetEphemeris/plneph.430" />
  </dataSources>
  <stars>
    <info J2000_key="J2000" J2000_GlobalKey="Earth/J2000">
      <starFile filePath="../../PhysicalObjectsData/StarCatalogues/stars.txt" Type="h" nums="11767,15863,25336,25428,26311,26727,28360,30324,31681,33579,34444,366">
    </info>
  </stars>
  <planets>
    <planet key="Earth" textPath="../../images/map/earth_day.jpg" EphemerisData="DefaultEphemeris" mu="398600.44188" R="6371" isChecked="true">
      <orientation key="Attitude">
        <properties defType="or_quat" check="false" color="#ffff00" scale="1" t="1" x="0" y="0" z="0" />
        <dependentOn DependencyType="base_CS" key="Earth/ECEF" type="cs" />
      </orientation>
      <report key="Earth/Attitude_report">
        <properties separator=";" secStep="60" format="time_utc" defType="user_report" check="false" color="#ffff00" scale="1" />
        <dependentOn DependencyType="Earth/Attitude" key="Earth/Attitude" type="orientation" />
      </report>
      <cs key="ECEF">
        <properties defType="cs_GCS" check="false" in_time="Пт июл 30 11:38:20 2021 GMT" translMat="0.171341,0.985212,-0.000366229,-0.98521,0.171341,0.00203">
          <dependentOn DependencyType="base_CS" key="Earth/J2000" type="cs" />
          <depending key="Earth/Attitude" type="orientation" />
          <depending key="Earth/x_ECEF" type="vector" />
          <depending key="Earth/y_ECEF" type="vector" />
          <depending key="Earth/z_ECEF" type="vector" />
          <depending key="КАС ГАИИ МГУ/Attitude" type="orientation" />
          <depending key="КАС ГАИИ МГУ/BF/axis" type="vector" />
          <depending key="КАС ГАИИ МГУ/BodyFrame" type="cs" />
          <depending key="КАС ГАИИ МГУ/position" type="dot" />
          <depending key="КАС ГАИИ МГУ/velocity" type="vector" />
          <depending key="КГО ГАИИ МГУ/Attitude" type="orientation" />
          <depending key="КГО ГАИИ МГУ/BF/axis" type="vector" />
          <depending key="КГО ГАИИ МГУ/BodyFrame" type="cs" />
          <depending key="КГО ГАИИ МГУ/position" type="dot" />
          <depending key="КГО ГАИИ МГУ/velocity" type="vector" />
          <depending key="Шорбулак (МНИИ Памир-Чакалтая)/Attitude" type="orientation" />
          <depending key="Шорбулак (МНИИ Памир-Чакалтая)/BF/axis" type="vector" />
        </properties>
      </cs>
    </planet>
  </planets>
</mideProject>
```

Рисунок 1 – «Исходный код» проекта – конфигурационный файл

На рисунке 2 представлен «результат запуска» проекта, составленного для демонстрации планов перспективных миссий МГУ. Демонстрируется мультиоконное отображение, а также варианты фокуса камеры в различных системах координат (виды «на спутник», «из камеры» и т.д.).

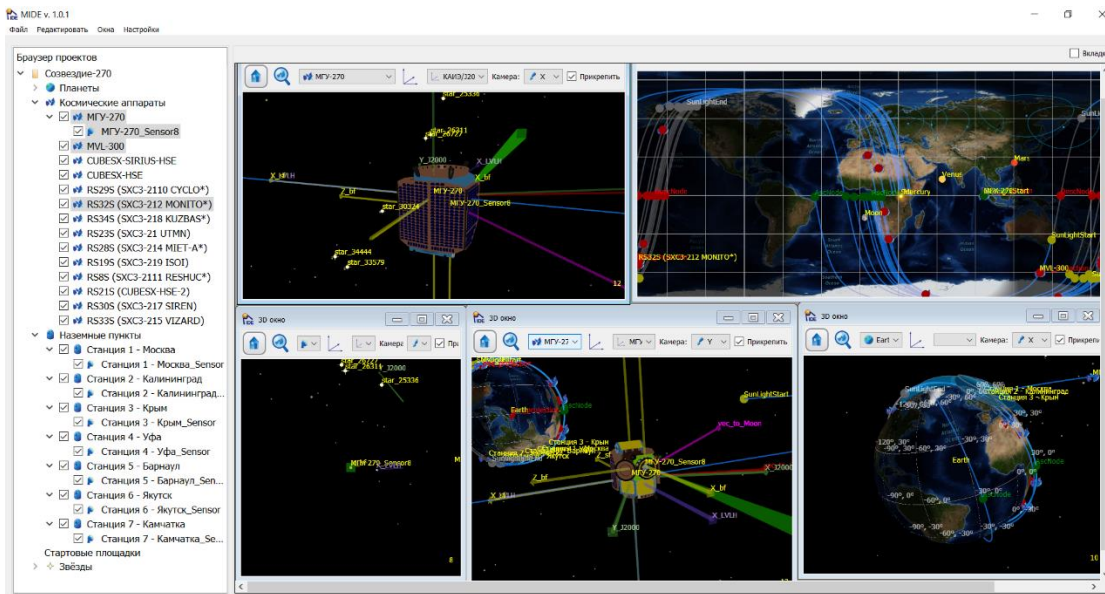


Рисунок 2 – «Результат запуска» проекта – рабочая область с экранами отображения

Наконец, на рисунке 3 представлен пример пользовательской настройки программы для моделирования динамических операций на МКС, а именно отстыковки ТГК «Прогресс» для оптического мониторинга его внешней поверхности.

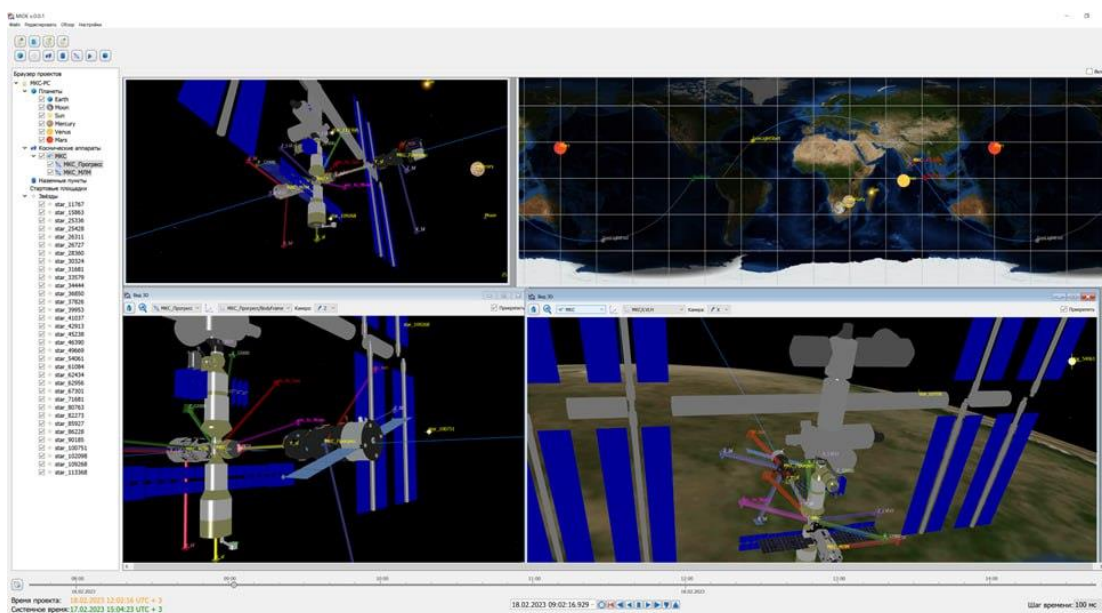


Рисунок 3 – Пример применения для задач моделирования динамических операций в околоземном пространстве

Дальнейшее развитие

Естественными направлениями развития является, во-первых, внедрение модулей, обеспечивающих расчет адаптивных стратегий поддержания орбит спутников с точки зрения достижения целевых показателей и, во-вторых, разработка модулей планирования работы многоспутни-

ковой группировки. Примеры, иллюстрирующие исследования БЦ ФКИ в области соответствующих технологий, приведены ниже. На рисунке 4 представлен результат решения классической задачи, а именно последовательного нацеливания аппарата на несколько точек в полосе обзора.

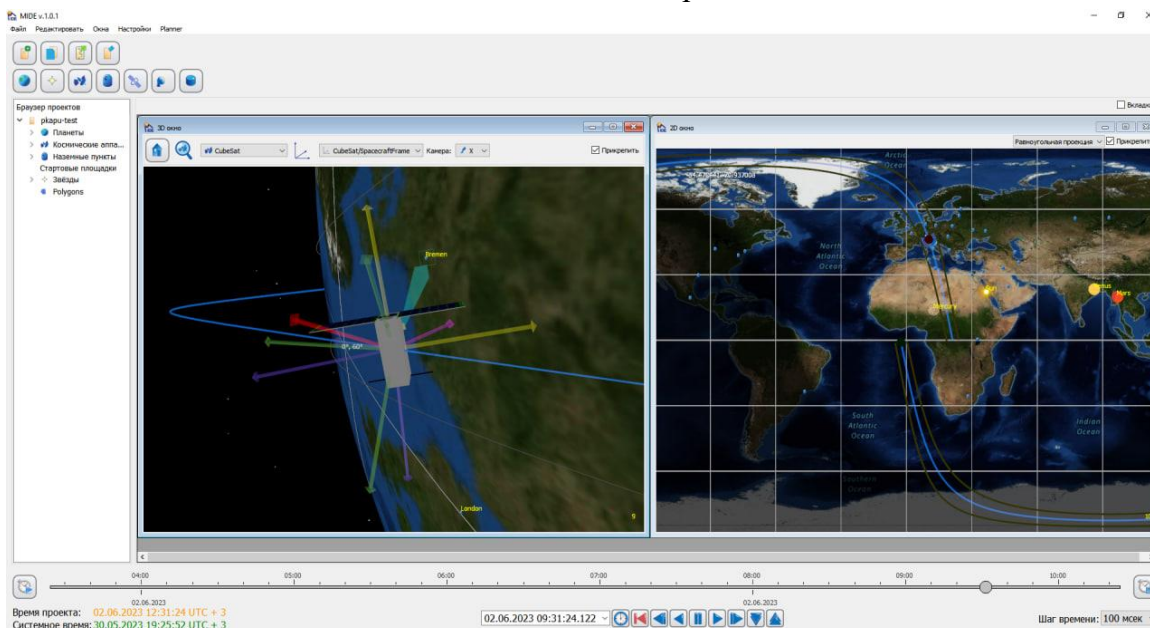


Рисунок 4 – Пример планирования съемки точек на поверхности

На рисунке 5 представлен результат мультиагентного планирования совместной работы космического и наземного сегментов группировки, в ходе которого:

1. Средствами генерации отчетов создаются файлы с потенциально возможными конфигурациями съемки и сброса;
2. Результат загружается в программу-планировщик, в которой в соответствии с заданными ограничениями и параметрами целевых функций ищется суб-оптимальное расписание;
3. Результат работы планировщика переводится в формат полетного задания, которое затем может быть промоделировано средствами MIDE.

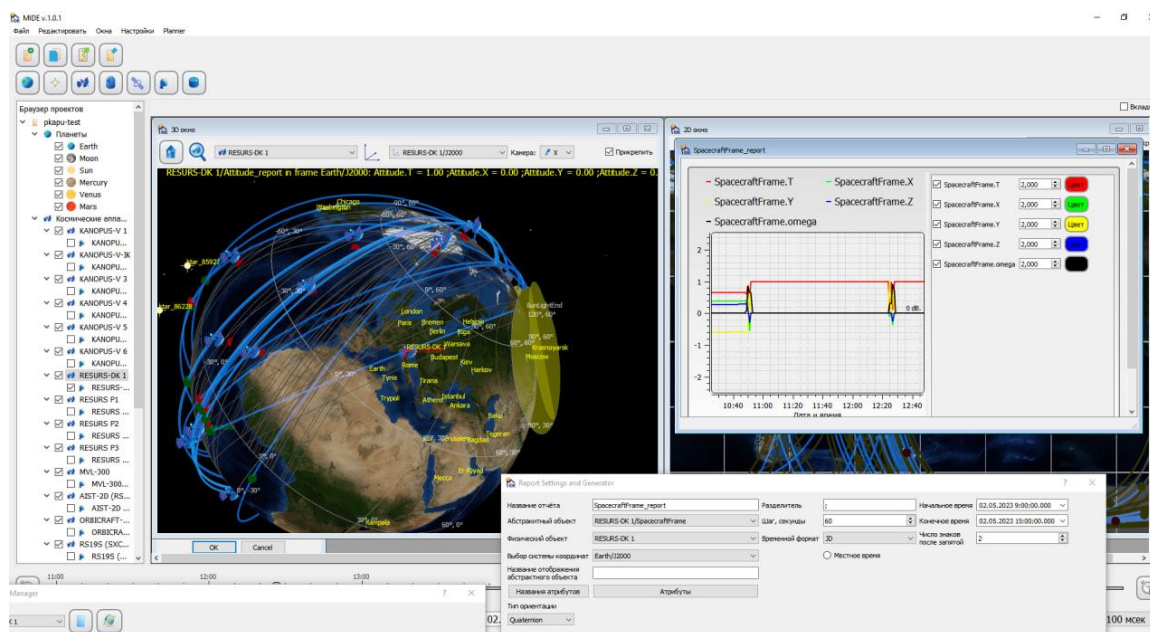


Рисунок 5 – Результат планирования работы группировки КА ДЗЗ. Оператор оценивает изменение угловой скорости при перестроении между целями

Коллектив БЦ ФКИ ориентирован на расширение сообщества пользователей и тестировщиков продукта, ознакомительная версия которого доступна на нашем сайте <http://astro-dynamics.ru/balcenter>

Работы выполнены при поддержке НОШ «Фундаментальные и прикладные исследования космоса» МГУ имени М.В. Ломоносова. Работы А.А. Филиппова и И.А. Самыловского по моделированию группировок частично выполнены в рамках гранта РФФ 21-71-00076.

Список литературы:

1. Планирование целевого применения группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с использованием мультиагентных технологий / П.О. Скобелев, В.К. Скирмунт, Е.В. Симонова [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. №10 (171), С. 60-70.
2. Галузин В.А., Симонова Е.В. Планирование съемки площадных объектов наблюдения группировкой космических аппаратов // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. Т. 20. №6(2).
3. Программный комплекс для моделирования орбитального и углового движения спутников / Д.С. Иванов, М.Ю. Овчинников, Д.С. Ролдугин [и др.] // Математическое моделирование, 2019. Т. 31. №12, С. 44–56.