

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНИМАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ МАНЕВРИРУЮЩЕГО СПУТНИКА ЗЕМЛЕОБЗОРА

© 2012 Т.Е. Сомова

НИИ Проблем надежности механических систем  
Самарского государственного технического университета

Поступила в редакцию 9.10.2012

Кратко представляются методы и разработанные программные средства для моделирования, имитации и анимации пространственного управляемого движения космического аппарата (КА) землеобзора с отображением маршрутов съемки на поверхности Земли.

Ключевые слова: космический аппарат землеобзора, анимация пространственного движения.

### ВВЕДЕНИЕ

При проектировании многоцелевых космических систем наблюдения, в том числе с применением сканирующей съемки поверхности Земли (рис. 1), весьма полезно применять современные компьютерные средства 3D-анимации. Решение общей задачи моделирования, имитации и анимации движения КА представляется следующими этапами: расчет параметров поступательного орбитального и углового движения КА для заданной последовательности различных маршрутов съемки; визуализация поверхности Земли с учетом освещенности; расчет трассы полета, зон покрытия и следа линии визирования; отображение конструкции КА с учетом засветки ее элементов Солнцем; организация визуального отображения пространственного движения КА.

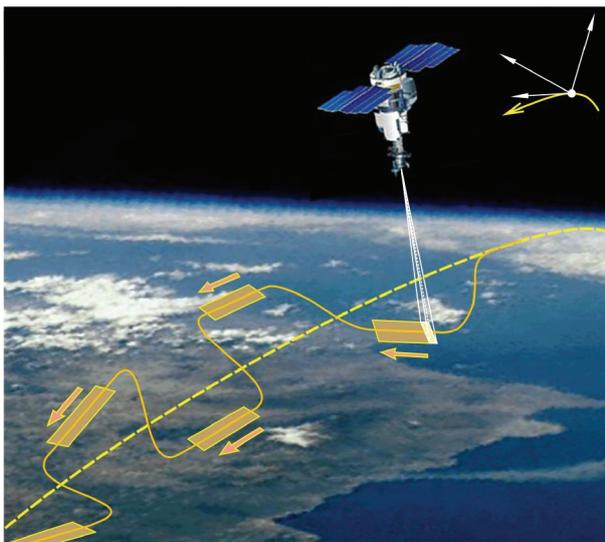


Рис. 1. Схема сканирующей съемки

Татьяна Евгеньевна Сомова, младший научный сотрудник  
отдела «Наведение, навигация и управления движением»  
НИИ Проблем надежности механических систем.  
E-mail te\_somova@mail.ru

Для решения указанной задачи использована разработанная в отделе «Наведения, навигации и управления движением» НИИ ПНМС СамГТУ программная система SIRIUS-S [1] и специализированная программная среда для визуализации расчетных результатов в трёхмерной графике, созданная в среде программирования Delphi 7 с применением графической библиотеки OpenGL.

### ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА SIRIUS-S

Программная среда SIRIUS-S (рис. 2) предназначена для формирования облика систем гиросилового наведения КА ДЗЗ [3] в отношении периодичности, производительности и оперативности наблюдения, разрешения на местности, точности наведения и стабилизации бортового телескопа с учетом возмущений, ограничений и др. факторов. Используются SIRIUS-S модели Земли; внешней обстановки; конструкции КА, включая оптический тракт телескопа и гиросиловые исполнительные органы; поступательного и углового движения КА, маршрутных движений при объектовой, стерео- и площадной съемке, а также пространственных поворотных

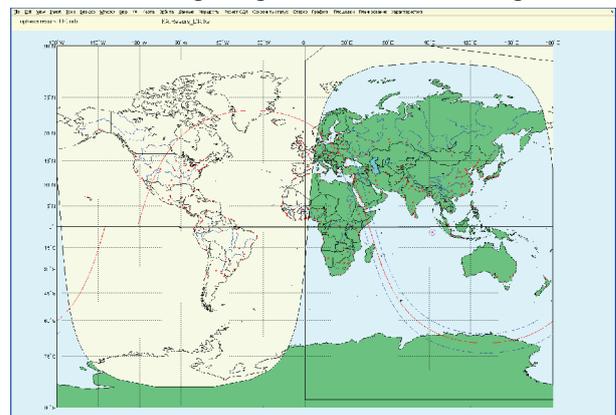


Рис. 2. Диалоговая среда системы SIRIUS-S

маневров, позволяют выполнить расчет всех кинематических параметров поступательного и углового движения КА и сформировать набор хм-файлов для обмена с подсистемой визуализации.

Для расчета координат произвольного объекта в поле зрения съемочной камеры вводятся системы координат (СК) и следующие обозначения:  $Ox_I y_I z_I$  – инерциальная система координат (ИСК);  $Ox_g y_g z_g$  – гринвичская система координат (ГСК);  $O_o x_o y_o z_o$  – орбитальная система координат (ОСК);  $O_f x_f y_f z_f$  – система координат камеры (СКК), связанная с ее фокальной плоскостью, при этом  $F$  – фокусное расстояние камеры;  $\mathbf{R}_i$  – радиус-вектор текущей точки траектории в ИСК;  $\mathbf{R}_o$  – радиус-вектор текущей точки орбиты в ИСК;  $\mathbf{R}_m$  – радиус-вектор текущей точки следа центральной линии визирования (ЦЛВ) на маршруте съемки в ИСК;  $\mathbf{R}$  – радиус-вектор произвольной точки  $(x, y, z)_I$  изображения в ИСК;  $\mathbf{r}$  – радиус-вектор произвольной точки  $(x, y, z)_f$  изображения в СКК, рис. 3. Отметим, что в поле зрения съемочной камеры одновременно находятся как поверхность вращающейся Земли с отмеченными на ней маршрутами выполняемой оптико-электронной сканирующей съемки, так и конструкция КА, совершающая пространственное поступательное и угловое движение, причем панели солнечных батарей (СБ) могут поворачиваться относительно корпуса КА.

Модель КА представлена системой твердых тел, включающих его корпус, телескоп с подвижной крышкой объектива, четыре звездных датчика в составе бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), комплексную двигательную установку (КДУ) на базе восьми электрореактивных двигателей (ЭРД), рис. 4, и

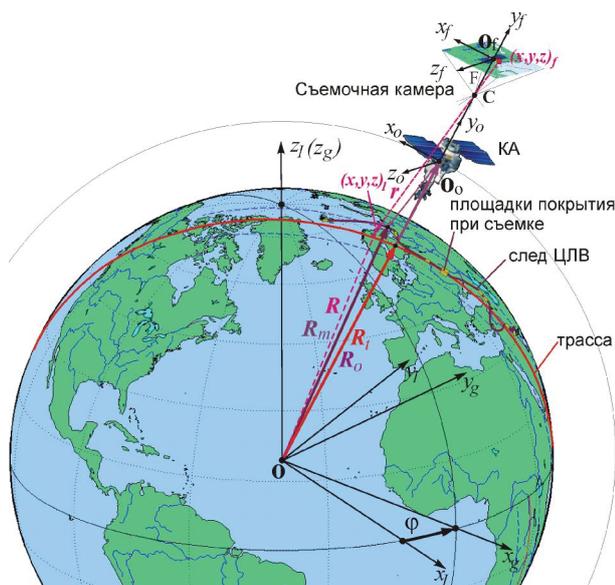


Рис. 3. Системы координат и схема расчета координат в поле зрения съемочной камеры  
Моделирование конструкции КА

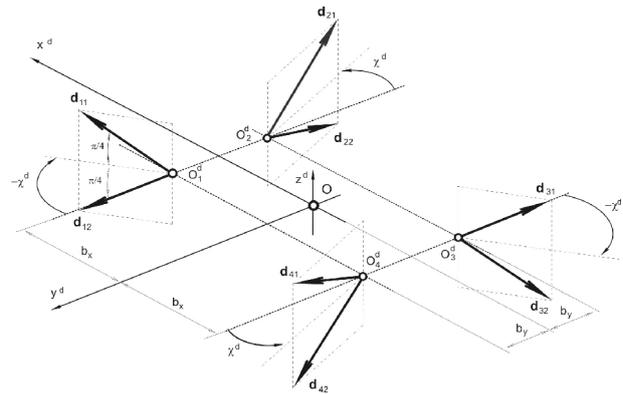


Рис. 4. Схема КДУ на основе 8 ЭРД

четыре подвижные панели СБ, каждая в двухступенном кардановом подвесе по схеме «вилка». 3D-модель конструкции КА составлена в среде Blender [3,4], отображение ее элементов с учетом освещенности Солнцем выполнено средствами OpenGL.

На рис. 5 показан пример визуализации конструкции спутника землеобзора с открытой крышкой телескопа в двух различных ракурсах.

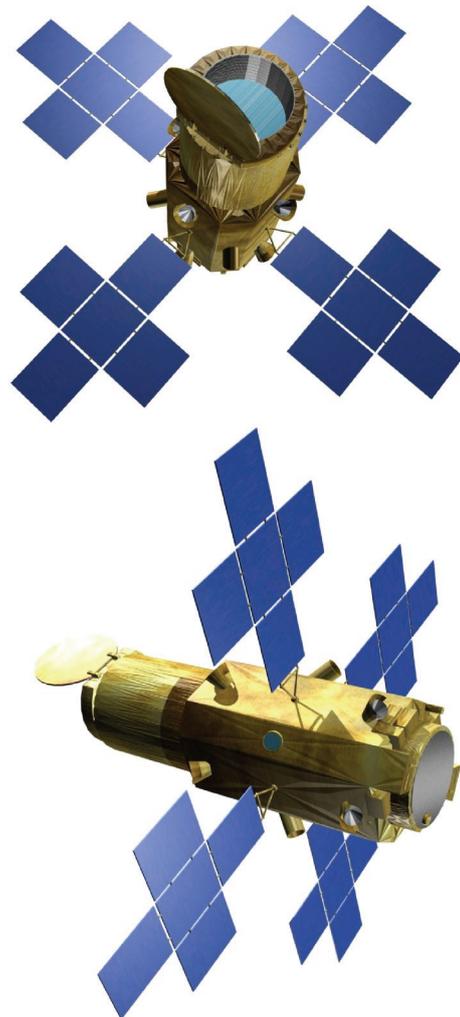


Рис. 5. Два положения конструкции КА

### АНИМАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ КА

Для отображения пространственного движения в реальном (либо ускоренном) времени применяется специализированная программная среда, созданная в среде программирования Delphi 7 с применением графической библиотеки OpenGL [5]. Минимальные требования к компьютеру включают тактовую частоту 1GHz, память 128MB RAM, видеокарту 128MB 3D Card. Работа программы начинается со стандартной процедуры “наклейки” текстуры в виде плоской карты Земли на сферическую поверхность. Далее на эту карту наносятся объекты наблюдения, выполняется перевод их географических координат в СК текстуры. Затем определяется орбитальное положение центра масс КА и угловое положение телескопа в СК сцены съемочной камеры. Отображаются элементы конструкции КА, точка трассы, точка прохождения линии визирования через поверхность Земли, и, если в этот момент времени выполняется сканирующая съемка, то и положение проекции линейки ПЗС на поверхность Земли.

Программа визуализации позволяет изменять масштаб изображения и положение точки наблюдения сцены космической сканирующей съемки поверхности вращающейся Земли. В режиме анимации (рис. 6) с помощью манипулятора «мышь» можно выполнять следующие действия:

- вращать изображение Земли вокруг ее собственной оси, проходящей через полюса при зажатии левой кнопки мыши и перемещения её влево / вправо;
- вращать изображение Земли вокруг оси, проходящей через экватор и направленной в начальный момент времени на наблюдателя, при зажатии левой кнопки мыши и перемещения её вверх / вниз;
- приближать и удалять камеру относительно Земли с помощью колесика мыши.

Представим результаты выполнения задания на съемку (рис. 7, таб. 1) при следующих данных: орбита солнечно-синхронная круговая с накло-

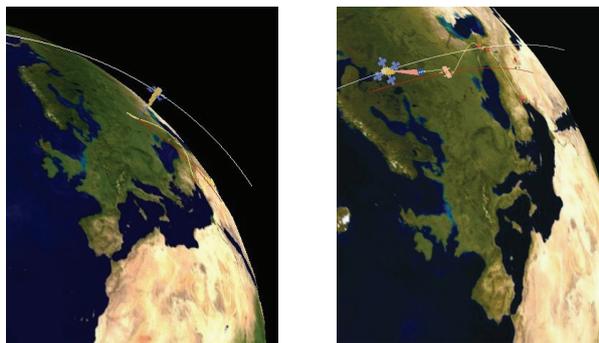


Рис. 6. Боковые кадры анимации движения спутника при сканирующей съемке

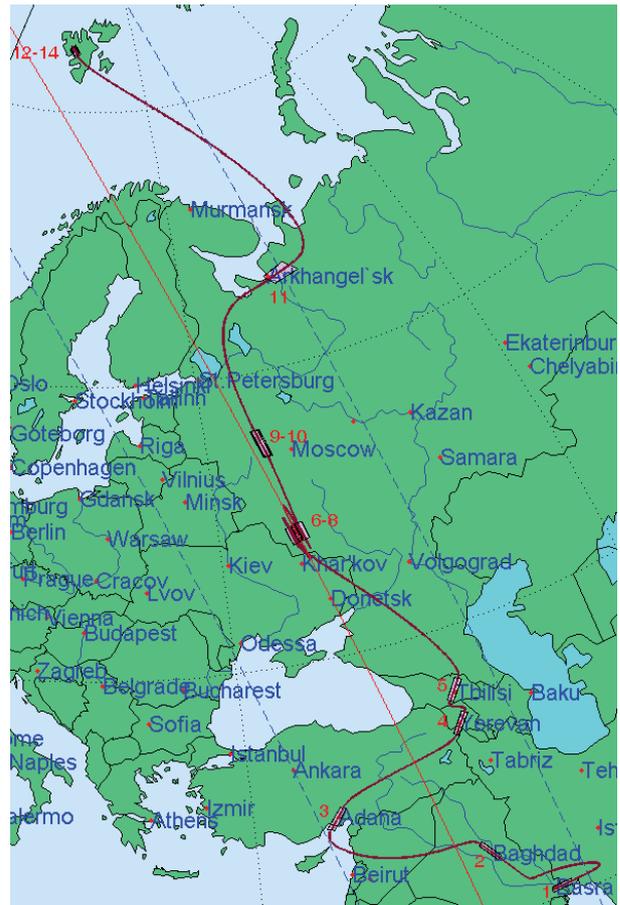


Рис. 7. Пример задания на съемку

Таблица 1. Результаты выполнения задания на съемку

i	Метод съёмки	$t_i, c$	$\tau_i, c$
1	Geo	475	10
2	Geo	575	14
3	Geo	620	11
4	Geo	660	15
5	Geo	690	14
6	Trace	735	14.45
7	Trace	845	14.45
8	Trace	955	14.45
9	Stereo	990	23.44
10	Stereo	1053	23.5
11	Smooth	1120	10
12	Trace	1200	8
13	Trace	1225	8
14	Trace	1250	8

нием 98°, аргументом перигея 120° и высотой полёта КА 600 км, формальная дата съемки 30.06.2009, декретное московское время (ДМВ) прохождения восходящего узла орбиты 08:58:08.

В таб. 1 указаны номер маршрута съёмки ( $i$ ), метод съёмки (съёмка по геодезической линии –

Geo, трассовая съёмка – Трасе, стереосъёмка – Stereo, съёмка с выравниванием скорости движения изображения (СДИ) в фокальной плоскости телескопа – Smooth), момент времени начала маршрута съёмки ( $t_i$ ), отсчитываемый от момента времени прохождения восходящего узла орбиты, и длительность ( $\tau_i$ ) соответствующего маршрута съёмки. При этом маршрутами  $i = 1 \div 5$  реализуется объектовая съёмка, маршруты  $i = 6 \div 8$  обеспечивают площадную съёмку, маршрутами  $i = 9, 10$  выполняется стереосъёмка, криволинейный маршрут  $i = 11$  обеспечивает наиболее точный режим съёмки с выравниванием СДИ и маршруты  $i = 12 \div 14$  реализуют трехкратную объектовую съёмку.

Некоторые результирующие кадры анимации пространственного движения КА при выполнении указанного задания представлены на рис. 8.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кратко описаны методы и разработанные программные средства для моделирования, имитации и анимации пространственного управляемого движения спутника землеобзора с отображением маршрутов съёмки на поверхности Земли. Представлены полученные результаты трёхмерного моделирования конструкции спутника и анимации его пространственного движения относительно вращающейся Земли для тестового задания на космическую сканирующую съёмку.

*Работа поддержана РФФИ (грант 11-08-01037) и отделением ЭММПУ РАН (программа фундаментальных исследований № 14).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раевский В.А., Титов Г.П., Сомов Е.И., Бутырин С.А.

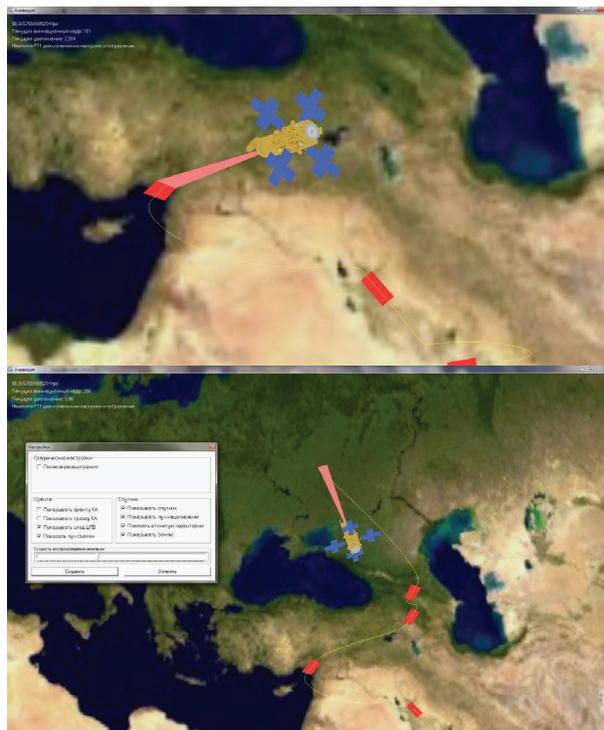


Рис. 8. Кадры анимации при выполнении задания

Автоматизация динамических исследований и проектирования систем управления движением космических аппаратов: от СПО СИРИУС к MATLAB // Аэрокосмическое приборостроение. 2003. № 4. С. 38-43.

2. Сомов Е.И., Бутырин С.А., Бутко А.В. Программная среда для формирования функционального облика систем гиросилового наведения космических телескопов // Известия Самарского научного центра РАН. 2008. Т. 9. № 3. С. 808-814.
3. Mullen T. *Introducing Character Animation with Blender*. B&W Publishing, 2nd ed. Edinburgh. 2011.
4. *Blender Basics*. Учебное пособие. 3-е изд. на рус. языке. 2012. URL: [http://b3d.mezon.ru/index.php/Blender\\_Basics\\_3-rd\\_edition](http://b3d.mezon.ru/index.php/Blender_Basics_3-rd_edition) (дата обращения 25 09 2012).
5. Энджел Э. *Интерактивная компьютерная графика*. Вводный курс на базе OpenGL. М.: Вильямс, 2001.

## MODELING AND ANIMATION OF MANEUVERING LAND-SURVEY SATELLITE SPATIAL MOTION

© 2012 T.Ye. Somova

Research Institute for Problems of Mechanical Systems Reliability,  
Samara State Technical University

We shortly present methods and elaborated software for modeling, imitation and animation of spatial controlled motion by a land-survey spacecraft with a mapping the observation courses on the Earth surface.

Key words: land-survey spacecraft, animation of spatial motion.

*Tatyana Somova, Associate Research Fellow at the Guidance, Navigation and Motion Control Department, Research Institute for Problems of Mechanical Systems Reliability.  
E-mail te\_somova@mail.ru*