Планирование и визуализация внекорабельной деятельности оператора-космонавта в СВР

Валерий Ли, Владимир Шаповал, Денис Коломийцев
Таганрогский государственный радиотехнический университет
Таганрог, Россия

Аннотация

Излагается компьютерная технология планирования и визуализации внекорабельной деятельности оператора-космонавта, применяемая в программном обеспечении визуализаторов профессиональных тренажерных комплексов. Основная цель разработки - исследование возможностей технологии при синтезе и рендеринге в реальном масштабе времени в условиях сверх больших информационных мощностей динамических виртуальных сцен.
Основное назначение - использование для визуализации моделируемой виртуальной среды в тренажерных комплексах профессиональной подготовки и тестирования космонавтов.

Ключевые слова: *визуализация, виртуальная модель, дискретное геометрическое моделирование, оператор-космонавт, пространственная геодезическая, режимы наблюдения, траектория.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Существует большой комплекс задач, который включает различные виды работы космонавтов, связанных с выходом в открытый космос для технического осмотра, ремонта или монтажа внешнего оборудования космических станций /КС/. Задачи внекорабельной деятельности /ВКД/ космонавтов объединяет то, что объектом действий и ориентиром в пространстве для космонавтов является поверхность КС [1].
Большие габариты современных КС, в том числе – международной космической станции /МКС/, затрудняют организацию наземных натурных тренировок. В связи с этим разрабатываются профессиональные тренажерные и тренажно-моделирующие комплексы на информационной базе среды виртуальной реальности /СВР/. Таким образом средства планирования, моделирования и визуализации всех этапов ВКД должны включать в себя в качестве основного компонента виртуальную модель КС высокой степени детализации. Комплекс моделирования для решения задач планирования ВКД должен обеспечивать:

- максимальную степень детализации представления внешнего облика КС, формирование внешнего облика с учетом изменений ее конфигурации;
- адекватность отображения взаимодействия космонавта-оператора и виртуальной модели КС в среде тренажно-моделирующего комплекса с учетом особенностей функционирования бортовых робототехнических комплексов, приборов и средств наблюдения.

2. ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ВКД

Имитационная интерактивная среда планирования и контроля (ИИСПК) ВКД разрабатывается как среда для отработки задач формирования сценария планирования ВКД. Для реализации ИИСПК создаются базы данных, которые включают в себя определенный набор моделей компонентов районов работ, подвижных объектов наблюдения, маршрутов (траекторий) движения и других параметров ВКД.
Перед работой ИИСПК задаются следующие параметры:

- вариант сцены виртуального пространства моделирования, его размеры и положение в локальной и глобальной системах координат;
- тип объекта наблюдения, его исходное положение в виртуальном пространстве и характеристики движения (скорость, направление, углы ориентации и т.д.);
- положение точки взгляда в виртуальном пространстве и ориентация оси визирования наблюдателя);
- интервал времени моделирования.

Сценарий планирования ВКД предназначен для:

- определения режима проведения эксперимента;
- описания поведения динамической модели объекта наблюдения –- оператора-космонавта во времени;
- описания сцены виртуального района работ;
- описания параметров маршрута движения объекта наблюдения;
- описания параметров функционирования робототехнических систем (РС);
- описания реакций на внешние воздействия от модели оператора-комонавта или от реальной аппаратуры в реальном времени;
- определения способа фиксации результатов моделирования.

Сценарий планирования ВКД включает в себя:

- параметры проведения эксперимента;
- параметры сцены виртуального пространства моделирования;
- параметры динамической модели оператора-космонавта;
- параметры и циклограмму работы РС;
- циклограмму поведения динамической модели оператора-космонавта;
- список реакций на внешние управляющие воздействия всех объектов синтезируемой виртуальной сцены;
- список информационных окон ИИСПК, их расположение и содержание.

Описание сцены (виртуального пространства моделирования) включает следующие компоненты:

- описание пространственных координат условной «поверхности» виртуального пространства моделирования – основы проволочных моделей объектов виртуальной сцены;
- описание свойств поверхности сцены (объекты, текстуры и т.п.);
- описание границ сцены (текстуры граничных элементов сцены);
- статические объекты окружающей виртуальной обстановки и соответствующие текстуры;
- динамические объекты наблюдения и их текстуры;

- положение наблюдателя, режимы и возможности наблюдения;
- освещение;
- природные эффекты, спецэффекты, видеопомехи и т.п.

Среди задач геометрического моделирования, как основы программного обеспечения этапа планирования ВКД, следует в первую очередь отметить задачу конструирования пространственной траектории перемещения оператора-космонавта на поверхности КС. На рисунке 1 представлена схема интерактивной программно-аппаратной технологии планирования, синтеза и визуализации ВКД.

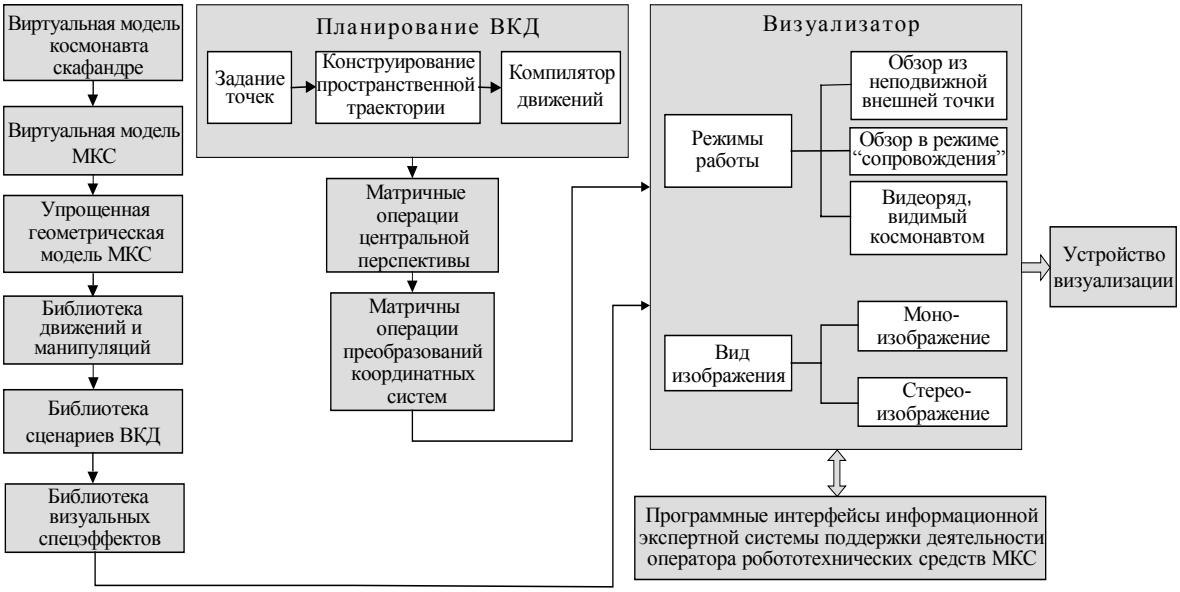

Рис.1. Технология планирования и визуализации ВКД

3. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ВКД

Виртуальная модель КС при визуализации ВКД оператора-космонавта является стационарной, ее графическая сложность оценивается несколькими сотнями тысяч полигонов. В связи с этим в различных режимах визуализации сцен наблюдения ВКД используются модели пониженной степени детализации (до 5 уровней), а также метод распределенного моделирования. Суть последнего заключается в замене полной виртуальной модели МКС моделью ее отдельного блока (отдельных блоков). Детализация должна обеспечивать на дистанции обзора 2 метра точность захвата точек поверхности – не менее 1 см.

На этапе планирования ВКД осуществляется конструирование ее траектории. При этом геометрическими исходными данными траектории являются:

- начальная (N) и конечная (K) точки траектории или фрагмента траектории. Если эти точки располагаются на поверхности КС, то траектория называется трассой. Конструктивно трасса одного сеанса ВКД может задаваться несколькими фрагментами (до5);
- дистанция траектории ВКД до поверхности КС. Трасса рассматривается как геодезическая линия на поверхности модели, а траектория – как ее пространственная эквидистанта.

Конструирование траектории ВКД осуществляется в интерактивном режиме на упрощенной геометрической модели КС, синтезированной из соосных и соосно пересекающихся поверхностей вращения – цилиндров и конусов (в данной версии среды планирования траектории ВКД не учитываются такие элементы КС, как экраны солнечных батарей.

На рисунке 2 представлена геометрическая схема конструирования траектории на примере соосных цилиндров вращения. В основу алгоритма конструирования трассы как геодезической линии, положен способ построения кратчайшей линии между двумя точками на топологически преобразованных развертках рассматриваемых поверхностей. Развертки цилиндров и конусов разных диаметров преобразуются в единый прямоугольник. Собственно траектория строится как пространственная внешняя эквидистанта трассы по направлениям главных нормалей в узловых точках поверхностей многогранников, аппроксимирующих поверхности вращения УГМКС. Параметром эквидистанты

является дистанция до поверхности КС. В общем случае конструирование траектории ВКД осуществляется в четыре этапа (рисунок 3):

Вначале эквидистанта конструируется как пространственная ломаная, а затем осуществляется ее гладкая дискретная интерполяция [2]

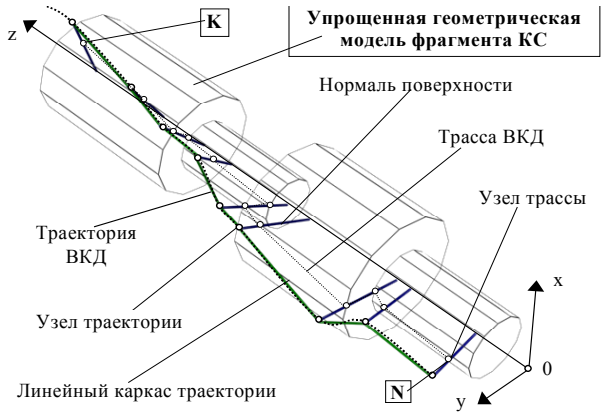

Рис.2. Геометрическая схема конструирования трассы и траектории ВКД

- на поверхности УГМКС задаются начальная и конечная точки трассы или ее фрагментов (рисунок 3а);
- автоматически строится трасса, определяются узловые точки на боковых ребрах и ребрах оснований аппроксимирующих многогранников (рисунок 3б);
- на развертке конструируется трасса и отображается на поверхности УГМКС (рисунок 3в);
- задается дистанция и формируется интерполированная пространственная траектория ВКД в дискретной (покадровой) форме задания.

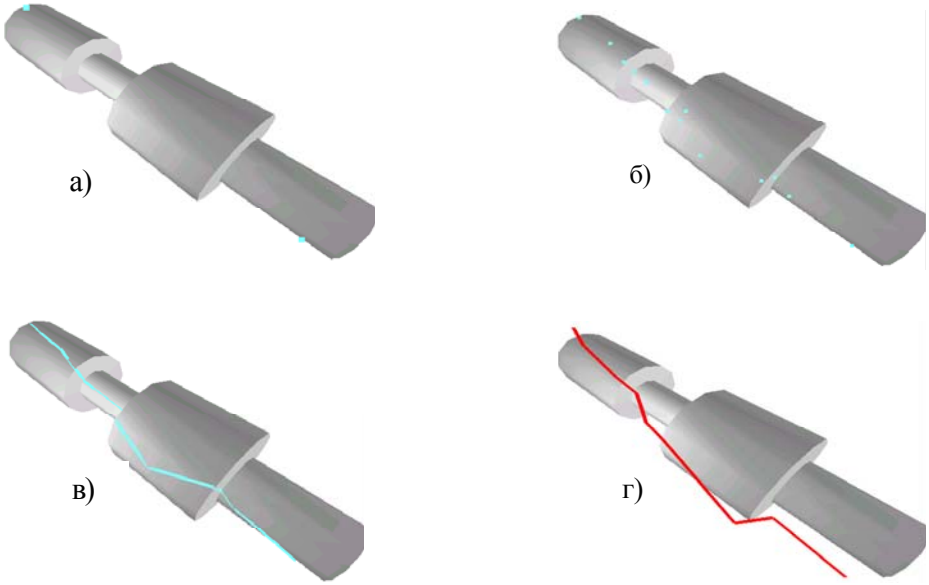

Рис.3. Этапы конструирования траектории ВКД на УГМКС, состоящей из соосных цилиндров вращения

На рисунке 4 представлены результаты конструирования траектории ВКД на двух геометрически различных сочетаниях элементов УГМКС.

Рис.4. Траектория ВКД на фрагменте УГМКС, включающей соосные конические и пересекающиеся цилиндрические поверхности вращения

4. СХЕМА И ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРА-КОСМОНАВТА

Виртуальная модель оператора-космонавта в скафандре является динамической. Она синтезирована на основе кинематической схемы тела человека и содержит 12 кинематических пар, обеспечивающих взаимное угловое перемещение элементов по 2 или 3 координатным осям. Модель скафандра дополнена необходимыми атрибутами дизайна, а также текстурами.

На рисунке 5 представлена геометрическая схема виртуальной модели оператора-космонавта. В процессе отработки ВКД центр масс виртуальной модели оператора космонавта перемещается в программном или интерактивном режиме по запланированной траектории. При этом вертикальная ось локальной системы координат космонавта совмещается с бинормалью траектории, а поперечная ось тела – с касательной последней.

В процессе движения по траектории имеется возможность интерактивного управления вращениями конечностей виртуальной модели оператора-космонавта. На рисунках 6 и 7 представлены кадры визуализации сеансов ВКД в различных режимах наблюдения.

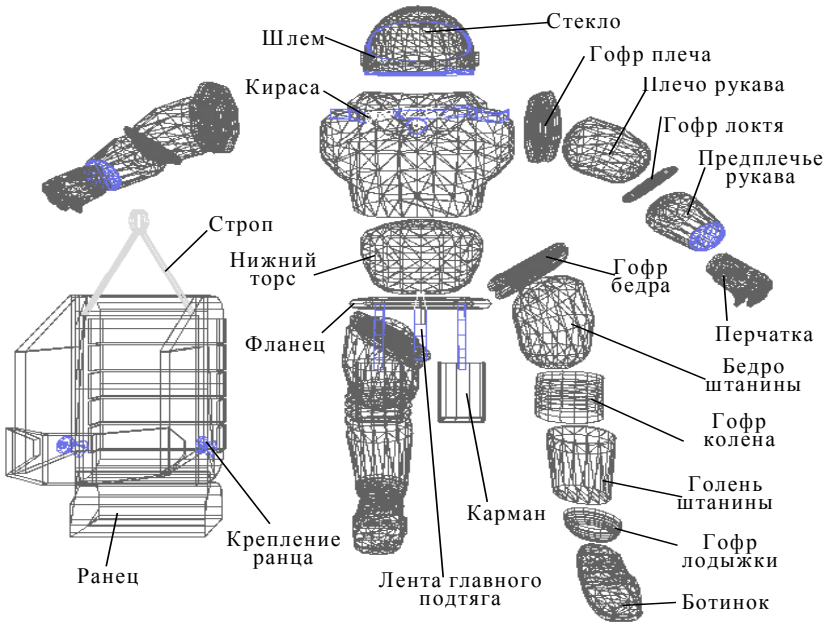

Рис.5. Геометрическая схема оператора-космонавта в скафандре

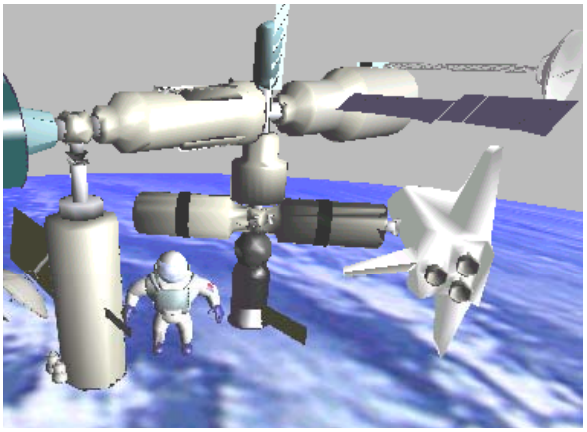

Рис. 6. Кадр визуализации сеанса моделирования ВКД в режиме взгладя из внешней неподвижной точки.

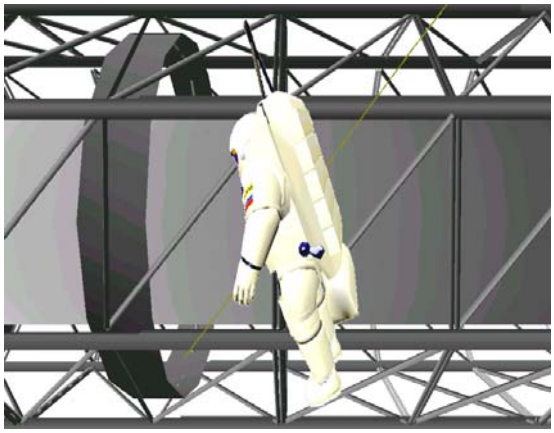

Рис. 7. Кадр визуализации сеанса моделирования ВКД в режиме слежения (автосопровождения). Поле зрения телекамеры – нормальное.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате исследований и испытаний предложенной среды моделирования были выявлены пределы достижения адекватности и реалистичности изображений кадров визуализации ВКД оператора-космонавта.
Производительность генерации телевизионных кадров при динамических испытаниях на процессоре P200 MMX с графическим сопроцессором RIVA TNT и с использованием процессора P366 CELERON с графическим сопроцессором RIVA TNT2 V3800 TV in/out в режиме включенного автомата сопровождения, приведена в таблице (средние значения рендеринга сцены в кадрах/сек при различных скоростях движения по траектории и манипуляции конечностями виртуальной модели космонавта). Исследования проводились при скоростях объектов до 0.2 м/сек.
В обоих случаях моделировался один и тот же сценарий на одной виртуальной сцене, содержащей:

- около 12000 полигонов в сцене;
- около 3000 полигонов в визуализируемом окне;
- объем используемых текстур около 5 МБайт.

Таблица. Результаты эксперимента по оценке быстродействия среды моделирования

Формат телеизображения (поле зрения)	P200 MMX (RIVA TNT)		P366 Celeron (RIVA TNT2)	
	Вкл. текстур	*Выкл. текстур*	*Вкл. текстур*	*Выкл. текстур*
Широкое	17.63	23.80	36.58	50.10
Нормальное	19.60	25.86	38.96	53.50
Узкое	20.13	26.08	39.47	54.54

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные исследования синтеза и рендеринга сверхбольших по информационной мощности виртуальных динамических сцен показывает эффективность применения такой формы ступенчатой детализации объектов, как распределенное моделирование.
Разработанная технология планирования и визуализации ВКД оператора-космонавта на КС может быть реализована только с использованием предварительного траекторного моделирования на упрощенной геометрической модели КС. Классическая теория дифференциальной геометрии о геодезических линиях не дает решения на дискретно заданных поверхностях, особенно для случаев составных и пересекающихся поверхностей.
Проведенные вычислительные эксперименты показали высокую степень зависимости динамической реалистичности виртуальных сцен от используемой аппаратной базы, применяемых графических акселераторов.

7. ЛИТЕРАТУРА

[1] Шаповал В.Г., Педошенко А.М., Ли В.Г. Средства виртуальной реальности в тренажерных комплексах космической отрасли. Материалы 2-й междун. Научно-техн. конференции «Новые технологии управления движением технических объектов». Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. С.39-42.
[2] Ли В.Г. Дискретно-интегральное конструирование пространственных кривых в натуральной параметризации. //Прикладна геометрія та інженерна графіка. К.: КДТУБА, 1998. Вип.64. с.98-100.

Авторы:

Валерий Ли д.т.н., доцент Таганрогского государственного радиотехнического университета.
Адрес: Таганрог, 347900, ул. Ленина, 81, т. (863-44) 692-56, E-mail: otdel15@ttpark.ru

Владимир Шаповал к.т.н., начальник сектора Таганрогского государственного радиотехнического университета.
Адрес: Таганрог, 347900, ул. Ленина, 81, т. (863-44) 692-56, E-mail: shapoval@ttpark.ru

Денис Коломийцев, инженер-программист Таганрогского государственного радиотехнического университета.