

На правах рукописи

Горбачевич Феликс Феликсович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ
И НАБЛЮДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
СЦЕН**

Специальность 05.13.11 — «Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Санкт-Петербург — 2010

Работа выполнена на кафедре вычислительной техники факультета информатики и вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина).

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Шмидт Владимир Константинович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Яковлев Сергей Алексеевич

кандидат технических наук
Черниченко Дмитрий Александрович

Ведущая организация: ФГУП «НИИ «Вектор»

Защита состоится 22 декабря 2010 г. в _____ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д212.238.01 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета.

Автореферат разослан 19 ноября 2010 г.

Учёный секретарь совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций, к.т.н.

Щёголева Н. Л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время активно развиваются системы отображения и наблюдения (СОН) различных динамических пространственных сцен: геопрограмственной, космической, наземной, подводной и др. Эти системы решают задачу моделирования и визуализации динамической сцены, включающую отображение объектов реального мира в режимах трёхмерного отображения и картографической проекции, в реальном масштабе времени. Сложность решения этой задачи связана с высоким числом динамических объектов, присутствующих в таких сценах, что затрудняет хранение и обработку статической информации (представления) и динамической информации (координатно-временной) об этих объектах с использованием современных вычислительных систем.

Основным направлением решения этой задачи является использование структур трёхмерной сцены (для организации хранения и обработки модели сцены), отсечений (для обработки объектов, попадающих в область видимости наблюдателя) и степеней детализации объектов (для отображения моделей объектов с упрощённым представлением), что позволяет уменьшить количество обрабатываемой в СОН информации.

Однако возможности существующих СОН по отображению большого количества динамических объектов, порядка 10^4 , ограничены, поскольку существующие системы не рассчитаны на работу с подобным количеством объектов в большом динамическом диапазоне и в реальном масштабе времени. Данную проблему, проблему отображения, можно решить, используя отсечения и степени детализации совместно со структурным разбиением сцены в модели динамической пространственной сцены.

Также существующие СОН не решают проблему наблюдения. Проблема наблюдения заключается в неоднозначности расположения спроецированных на экран трёхмерных объектов из большого динамического диапазона; данную проблему можно решить при помощи включения вспомогательных объектов, дополняющих визуализацию сцены, в отображение в рамках системы.

В доступных публикациях также отсутствует описание методик проектирования СОН, что затрудняет применение существующих методик для создания новых СОН.

Таким образом, задачи, связанные с созданием моделей динамической пространственной сцены, моделей подсистем отображения СОН, методик проектирования СОН, и созданием программных средств СОН являются актуальными и решаются в данной работе.

Цель работы заключается в разработке методики проектирования СОН динамической пространственной сцены, для создания программных систем СОН динамических пространственных сцен на основе методики.

Для достижения поставленной цели решаются *следующие задачи*:

1. Создание модели динамической пространственной сцены (МДПС), ис-

пользующей отсечения и степени детализации совместно со структурным разбиением в модели.

2. Создание модели подсистемы отображения (МПО) в СОН, решающей проблему наблюдения спроецированных на экран динамических трёхмерных объектов большого динамического диапазона.
3. Разработка методики проектирования СОН на основе МДПС и МПО, позволяющей создавать программные системы, с использованием преимуществ МДПС и МПО.

Объект исследования. *Объектом исследования* являются системы отображения и наблюдения динамических пространственных сцен.

Методы исследования. Исследование базируется на методах теории множеств, теории графов; методах проектирования программных систем с трёхмерным графическим интерфейсом; методах построения графических интерфейсов пользователя.

Новые научные результаты. Автором получены следующие научные результаты:

1. Создана формализованная модель динамической пространственной сцены.
2. Создана модель подсистемы отображения СОН.
3. Разработана методика проектирования СОН для динамических пространственных сцен с постоянным присутствием объектов в сцене.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

1. На основе разработанной методики проектирования СОН возможна разработка СОН различных областей: морской, наземной, орбитальной.
2. Созданное на основе методики проектирования программное средство ГеоСОН решает задачу моделирования и визуализации геопространства; позволяет производить слежение за орбитальными и наземными объектами, а также моделировать запуск новых орбитальных объектов.

Научные положения, выносимые на защиту

1. *Формализованная модель динамической пространственной сцены (МДПС)* отличается от существующих использованием пространственного разбиения совместно с использованием степеней детализации и отсечений, что позволяет учитывать большой динамический диапазон сцены и уменьшать объём данных, обрабатываемых в реальном масштабе времени.
2. *Модель подсистемы отображения (МПО) СОН* отличается от существующих наличием этапа адаптации, что позволяет вводить в человеко-машинный интерфейс приложения дополнительные построения для повышения информативности отображаемых данных сцены.
3. *Методика проектирования СОН динамических пространственных сцен* отличается от существующих проектированием сущностей приложения на основе МДПС, и проектированием подсистемы отображения

на основе МПО, что позволяет использовать предложенные шаблоны проектирования для сокращения сроков создания новых СОН динамических пространственных сцен.

Достоверность результатов исследования подтверждается результатами использования программного средства ГеоСОН, созданного на основе предложенных моделей и методики.

Внедрение результатов работы. Результаты работы переданы в филиал ФГУП «ЦНИИ «Комета» «НПЦ ОЭКН» и используются для моделирования геопрограммной обстановки, поиска спутников, расчёта положений спутников, моделирования запусков спутников, взаимных положений спутников, и прочих характеристик.

Апробация работы. Основные результаты докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: на 58 и 59 научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Санкт-Петербург, 2005–2006 гг.), на международной научно-практической конференции «Особенности развития космической отрасли России и перспективы её дальнейшей интеграции в систему международных экономических связей» (Санкт-Петербург, 2007 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 5 научных работ, из них — 4 статьи (2 статьи опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определённых ВАК, 1 статья — в электронном научном издании из списка НТЦ «Информрегистр», 1 статья — в ведущем рецензируемом научном журнале, не входящем в список ВАК), 1 работа — в трудах российских и международных научно-технических конференций и симпозиумов.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав с выводами, описания основных результатов работы и списка литературы, включающего 70 наименований. Основная часть работы изложена на 132 страницах машинописного текста. Работа содержит 55 рисунков и 13 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, даётся характеристика работы, приводится краткое содержание работы по главам.

В первой главе диссертации приводится обоснование необходимости разработки методики проектирования СОН динамической пространственной сцены. Рассматриваются входные и выходные данные, характерные для СОН. Выходными данными является изображение сцены. Во входных (исходных) данных можно выделить статические (постоянные во времени), и динамические (изменяющиеся со временем).

Статические данные в СОН:

- представление объектов (их внешний вид, состав и пр.);
- окружающая среда (рельеф местности и пр.);
- иные неизменные свойства объектов (имена, категории).

Динамические данные в СОН:

- координатно-временная информация (КВИ) о положении объектов;
- иные свойства объектов, изменяющиеся со временем (вес и т.п.).

Для систем СОН динамической пространственной сцены, общий вид входов и выходов показан на рис. 1. Выходное изображение передаётся пользователю. Пользователь воздействует на систему, используя графический пользовательский интерфейс (ГПИ).

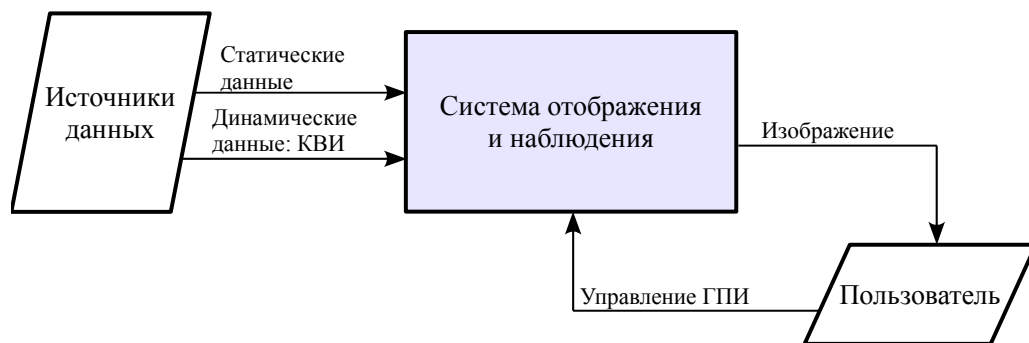


Рис. 1. Входы и выходы в СОН динамической пространственной сцены

Примеры источников статических данных в СОН:

- представление объектов: САПР-модели и иные трёхмерные форматы представления, используется в основном поверхностное представление;
- модель Земли, высотная информация: цифровые карты местности, или цифровые модели рельефа (ЦМР);
- модель Земли, аэрофотосъёмка поверхности;
- модель Земли, векторные карты, данные ГИС (ESRI ArcGIS и иные).

Примеры источников динамических данных, в зависимости от вида СОН:

- КВИ положения планетарных тел: кеплеровская аналитическая модель;
- КВИ о положении динамических объектов: ГЛОНАСС- и GPS-данные;
- исходные данные для модели SGP4 расчёта положений спутников: данные Celestrack;
- зоны видимости спутников: аналитический расчёт.

Проблемы, возникающие при решении задачи моделирования пространства с динамическими объектами, можно рассматривать как совокупность двух проблем: проблемы отображения и проблемы наблюдения.

Проблема отображения заключается в сложности моделирования больших объёмов данных в большом динамическом диапазоне в реальном масштабе времени, при использовании современных программных технологий и вычислительной техники.

Следующие данные пространственной сцены обладают большим объёмом:

- данные о земной поверхности, включающие аэрофотосъёмку и спутниковую съёмку;
- положение и направление движения динамических объектов.

В случае необходимости воспроизведения записанных данных, необходимо также учитывать рост их объёма, в зависимости от сроков хранения исторической информации; это приводит к сложностям хранения и обработки таких данных.

Проблема наблюдения заключается в особенностях восприятия человека:

- невозможности однозначно восстановить положение объекта в трёхмерном пространстве из проекции на двумерный экран;
- невозможности воспринимать большое число динамических объектов (например, спутников) одновременно;
- невозможности воспринимать объекты, отображаемые в большом динамическом диапазоне одновременно.

Проблема требует введения некоторых вспомогательных средств в программные системы для облегчения восприятия отображаемой информации. В СОН необходимо доминирование *информативности над реалистичностью*.

В таблице 1 представлены существующие СОН, в которых в той или иной мере решаются проблемы отображения (учитывается большой динамический диапазон, моделируются динамические объекты, моделируется время) и наблюдения (отображаются картографические проекции в дополнение к трёхмерному отображению, и визуализируются вспомогательные построения). Показаны три системы из класса систем моделирования земной поверхности и объектов геопространства, а также наиболее полная функционально система из класса моделирования планетарных систем, Maris RedShift.

Таблица 1. Классификация СОН динамической пространственной сцены

Система	Решения проблемы отображения			Решения проблемы наблюдения		Возможности расширения
	Большой динамический диапазон	Динамические объекты	Моделирование времени	Картографические проекции	Вспомогательные построения	
Google Earth	+	+				
Bing Maps				+		
World Wind	+	+				+
RedShift			+		+	
GeoСОН	+	+	+	+	+	+

В таблице показаны существующие системы и наличие в них классификационных признаков.

Ни одна из рассмотренных в работе существующих систем, в их оригинальном виде, без последующих модификаций и доработок, не решает проблемы отображения и наблюдения полностью. Одна из существующих систем (NASA World Wind) содержит возможности расширения, чем можно воспользоваться для создания системы с заданным набором возможностей, используя ряд модулей из NASA World Wind.

Проблемы отображения и наблюдения, возникающие при моделировании физической (реальной) динамической пространственной сцены, можно решить при помощи создания методики проектирования СОН. СОН, создаваемые на основе методики проектирования, должны учитывать особенности динамической пространственной сцены: наличие динамических объектов, моделирование времени и др.

Последней строкой в таблице 1 показана система *GeoСОН* (система отображения и наблюдения геопропространственной сцены), создаваемая на основе предлагаемой в работе методики.

Рассматриваются существующие шаблоны архитектуры СОН, в рамках изучения архитектуры СОН. Наиболее часто используемые и цитируемые архитектурные шаблоны:

1. MVC (model—view—controller, модель—вид—контроллер).
2. PAC (presentation—abstraction—control, представление—абстракция—контроллер).
3. MVP (model—view—presentation, модель—вид—представитель).
4. MVVM (model—view—view model, модель—вид—вид-модель).

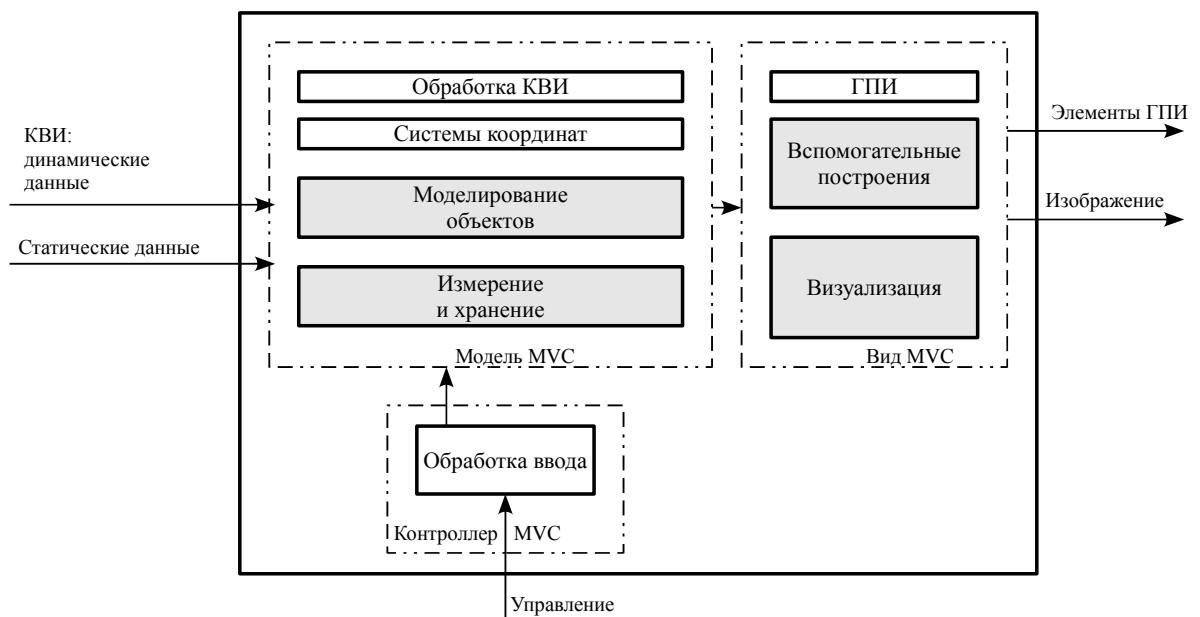


Рис. 2. Пример архитектуры СОН, элементы подсистемы отображения не упорядочены

На рис. 2 показан пример архитектуры СОН, основанной на шаблоне архитектуры MVC. Показаны входные и выходные данные.

Как правило, центральное место в архитектуре СОН занимает процесс формирования изображения трёхмерной геопропространственной сцены, отмеченный на рис. 2 серым цветом. Также показан ряд элементов системы, которые влияют на создание изображения косвенно. В их числе ГПИ (графический пользовательский интерфейс), координатные преобразования, ввод и вывод в приложении.

Необходима модель подсистемы отображения (МПО) для решения проблемы отображения (уменьшения количества обрабатываемой информации) и проблемы наблюдения (вспомогательные построения). Модель должна состоять из тех элементов подсистем модели и вида, которые моделируют объекты и формируют выводимое на экран изображение. МПО в СОН должна объединять:

- обработку КВИ и аккумуляцию поступивших в систему данных;
- моделирование объектов системы;
- моделирование вспомогательных объектов для информативности;
- визуализацию конечного изображения.

Функционально модель, исходя из требований к СОН, должна включать:

- моделирование большого числа объектов, характерных для СОН динамической пространственной сцены;
- возможность переключения между отображением картографической проекции и трёхмерным отображением;
- отображение объектов в различных вариантах их представления в зависимости от вида отображения в системе (в том числе, схематичное представление объектов в виде картографической проекции);
- отображение вспомогательных объектов и выбор их представления, в зависимости от вида отображения в системе (в том числе, размерные линии в режиме картографической проекции).

Во второй главе диссертации описываются предлагаемые автором модели, модель сцены и модель подсистемы отображения. Модель динамической пространственной сцены (МДПС) описывает состав сцены (статическую составляющую СОН). Модель подсистемы отображения (МПО) описывает отображение сцены (динамическую составляющую).

В главе рассматриваются существующие МПО СОН: модель Фоли, модель Вильяма и Макиеля, и модель Шмальстига; их применимость к использованию в СОН, после чего формулируется модель подсистемы отображения, с целью последующего создания методики проектирования СОН динамических пространственных сцен.

Модели, представленные в доступных публикациях, не полностью удовлетворяют заявленным требованиям в силу следующих причин:

- отсутствует возможность переключения между различными видами отображения (при необходимых нам картографической проекции и трёхмерным отображением);
- отсутствует отображение объектов в различных вариантах их представления в зависимости от вида отображения в системе;
- не рассматривается необходимое отображение вспомогательных объектов и выбор их представления.

Таким образом, необходимо создать свою МПО, которая бы преодолевала данные ограничения.

В модели последовательности отображения решается широкий спектр задач. Существующие в рамках МПО классы задач:

- представление объектов;
- координатно-временной аппарат, работающий с КВИ;
- структура МДПС;
- отсечения и видимость в МПО;
- степени детализации (СД);
- визуализация, основанная на изображениях (ВОИ);
- работа с массивными сценами (сценами, которые не помещаются в ОЗУ);
- распределённые МДПС.

В предлагаемой МДПС *сцена* — это совокупность пространства и объектов в этом пространстве:

$$S = \langle P, O \rangle, \quad (1)$$

где P — множество точек пространства, а O — множество объектов в рамках этого пространства.

Каждому *объекту* соответствует его *представление*:

$$K \subseteq O \times F, \quad (2)$$

где O — множество объектов, F — множество представлений.

Пространство P , в случае разбиения пространственно-ориентированного разбиения (ПОР), делится на области-ячейки C :

$$\begin{aligned} \forall c \in C : c \subset P, c \neq \emptyset, \\ \forall c_i, c_j \in C : c_i \cap c_j = \emptyset, \end{aligned} \quad (3)$$

При объектно-ориентированном разбиении (ООР), объекты образующие *иерархию*, в рамках *графа сцены*:

$$G = \langle O, E \rangle. \quad (4)$$

Наблюдатель в модели: $v \in V \subset O$:

$$\forall f \in F, \forall v \in V \subset O : (v, f) \notin K. \quad (5)$$

Наблюдатель характеризуется пирамидой видимости.

Для использования *степеней детализации* (СД), используется множество представлений объектов, $\forall o \in O \exists F^+ \in F$, а

$$F \xrightarrow{L} F^+, \quad (6)$$

где L — отображение упрощения, которое переводит множество представлений F во множество адаптированных (упрощённых) представлений F^+ .

Объектно-ориентированное разбиение (или иное), совместно с наличием пирамиды видимости, и существованием степеней детализации, позволяет отображать объекты в рамках *большого динамического диапазона*.

Последовательность отображения МДПС:

$$\begin{aligned} z(o, t) &= \Phi_{cmp}[z(o, t_0), \langle x(o, \tau) \rangle, t, o] \\ a_{окр}(o, v, t) &= \Theta_{окр}[\langle z(o, t) \rangle, t, o, v] \\ a_{сд}(o, v, t) &= \Theta_{сд}[a_{окр}(o, v, t), t, o, v] \\ y(o, v, t) &= \Psi[a_{сд}(o, v, t), t, o, v], \end{aligned} \quad (7)$$

где x — координатно-временная информация, z — функция моделирования, $a_{окр}$ и $a_{сд}$ — функции адаптации для обработки окрестности наблюдателя и степеней детализации, y — функция визуализации, $\langle x(o, \tau) \rangle$ — кортеж координатно-временной информации объекта o в моменты времени $t_0 \leq \tau < t$, v — наблюдатель, $z(o, t_0)$ — значение функции моделирования на начальный момент времени.

В каждой из функций последовательно отсекается часть информации о сцене, что приводит к уменьшению объёма обрабатываемой информации и повышению эффективности системы.

В функции моделирования z учитывается структурное разбиение в модели. Наличие функции адаптации $a_{окр}$ для обработки окрестности наблюдателя позволяет производить отсечения, а также выводить вспомогательные объекты. Наличие функции адаптации $a_{сд}$ для обработки степени детализации позволяет отображать объекты в различных вариантах их представления, а также учитывать варианты картографической проекции и трёхмерного отображения.

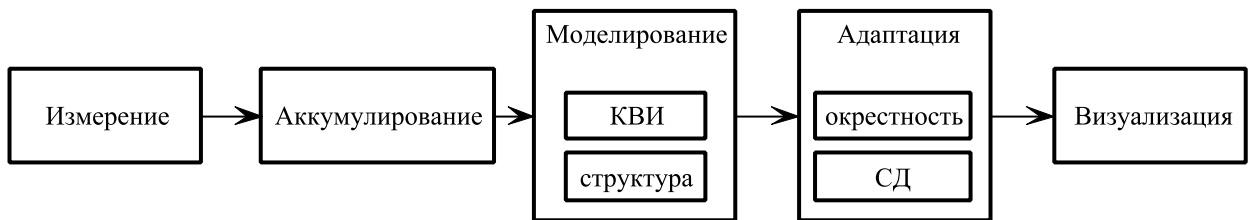


Рис. 3. МПО с содержанием этапов

Система функций (7) описывает предлагаемую автором модель подсистемы отображения в СОН. Объекты системы проходят этапы (стадии) моделирования, адаптации и визуализации. На этапах адаптации и визуализации также участвует наблюдатель.

Вид МПО показан на рис. 3.

На этапе моделирования используется структура сцены, и структурное разбиение. На этапе адаптации в рамках адаптации для обработки окрестности производятся отсечения, и создаются вспомогательные объекты. В рамках адаптации для обработки СД положения и вид объектов трансформируются согласно виду отображения (трёхмерное отображение или картографическая проекция), а также параметрам наблюдения (расстояние от наблюдателя и т.п.).

Пример архитектуры системы СОН, дополненной моделью подсистемы отображения, показан на рис. 4. Обобщённо показаны статические и динамические источники данных.

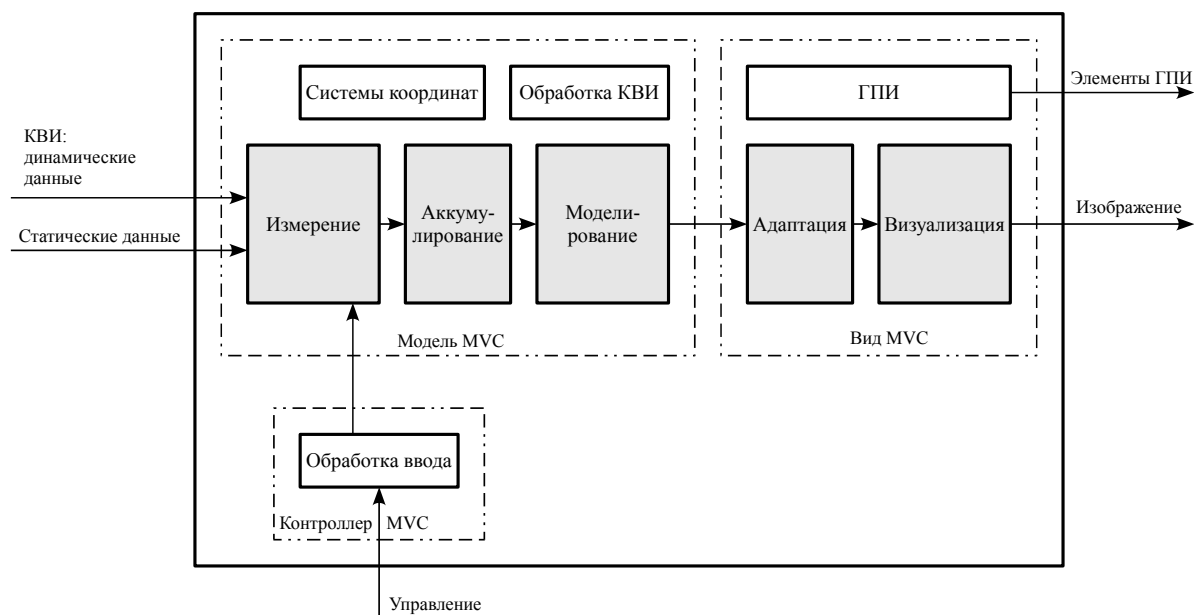


Рис. 4. Пример архитектуры СОН с использованием МПО

В третьей главе диссертации рассматривается проектирование СОН. Предлагаемая автором методика проектирования СОН состоит из перечисленных ниже этапов. Маршрут проектирования СОН показан на рис. 5; серым показаны этапы, в которых используется МДПС и МПО.

На каждом этапе предлагается принимать решения, влияющее на архитектуру конечного приложения; решения принимаются как в рамках заданных категорий, так и по расширению предлагаемого в этапе базового решения.

Часть этапов описывает создание подсистем: подсистемы данных (назначение соответствует подсистеме модели в MVC, и аналогичным подсистемам в других архитектурных шаблонах), подсистемы контроллера, и подсистемы представления (назначение соответствует подсистеме вида в MVC).

Подсистема отображения, также описываемая одним из этапов, описывает создание элементов, которые могут входить в другие подсистемы (на рис. 4 показано, как элементы подсистемы отображения, МПО, входят в подсистемы модели и вида MVC).

Этап 1. Выбор аппаратно-программных средств

На данном этапе производится выбор как аппаратных средств (платформа), так и программных (ОС, графическая библиотека и пр.), с использованием которых будет работать реализация. Выбор аппаратно-программных средств может влиять на остальные этапы; например, выбор каркаса .NET и технологии WPF для пользовательского интерфейса может повлечь за собой выбор архитектурного шаблона MVVM в качестве основы архитектуры приложения.

Предлагается выполнять действия в приведённой последовательности:

1. Выбор платформы
2. Выбор ОС
3. Выбор языка программирования
4. Выбор существующего графического ядра или разработка собственного
5. Выбор графической библиотеки (OpenGL, DirectX, Java3D)

Функциональность на каждом уровне в терминах созданной МПО показана в табл. 2.

Таблица 2. Соответствие аппаратно-программных средств этапам из МПО

Системный уровень	Этапы в МПО
Язык высокого уровня	Логика приложения
Графическое ядро	Моделирование, Адаптация
Язык низкого уровня	Моделирование, Адаптация
Графический ИПП	Визуализация
ОС	Аккумуляция, Измерение
Платформа	

Этап 2. Проектирование общей архитектуры приложения

Производится построение общей архитектуры приложения, его входов и выходов; возможен выбор одного из рассматриваемых в работе архитектурных шаблонов в качестве основы архитектуры — MVC, PAC, MVP или MVVM.

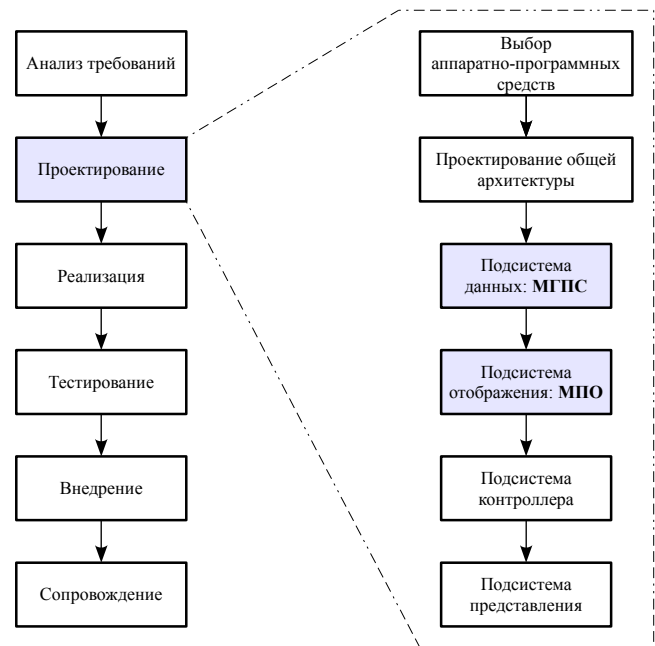


Рис. 5. Маршрут проектирования СОН

Архитектурное решение должно позволять системе работать в реальном масштабе времени; проектируются входы и выходы системы, при этом во входных данных, как правило, должна присутствовать КВИ, поступающая в реальном масштабе времени, а в выходных данных — визуализированное изображение сцены, обновляемое в реальном масштабе времени.

Этап 3. Проектирование подсистемы данных

Проектируются модули сущностей, представляющие собой модели сущностей предметной области; а также вспомогательные модули: модуль систем координат и модуль работы со временем, показанные в составе архитектуры на рис. 4.

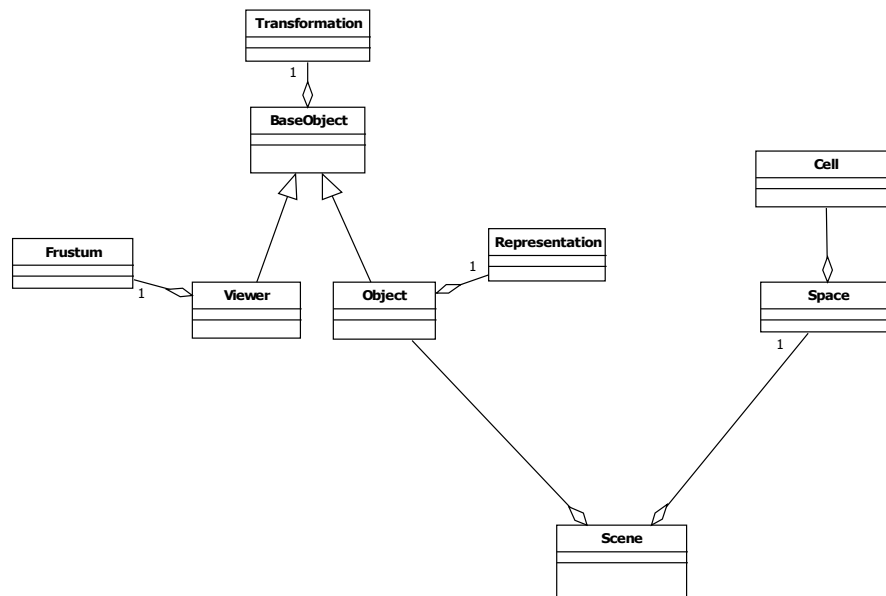


Рис. 6. UML-диаграмма классов МДПС

Данный этап подразумевает создание сущностей сцены. Автор предлагает в качестве основы воспользоваться созданным шаблоном проектирования, показанном на UML-диаграмме классов, рис. 6.

На диаграмме отображены основные сущности МДПС и отношения между ними.

Scene — сцена, состоящая из множества объектов *Object* и пространства *Space*.

Пространство *Space* в случае использования ПОР-структуры, будет поделено на ячейки *Cell*.

BaseObject — базовый класс для всех объектов в модели, характеризуется трансформацией *Transform*.

Viewer — наблюдатель, характеризуемый пирамидой видимости *Frustum*.

Объекты *Object*, не являющиеся наблюдателями, имеют представление *Representation*.

Этап 4. Проектирование подсистемы отображения

Осуществляется на основе предложенной МПО, и включает создание сущностей измерения, аккумулярования, моделирования, адаптации и визуализации. Сущности подсистемы отображения находятся в подсистемах данных и представления.

Предлагаемый шаблон проектирования для последовательности отображения показан на UML-диаграмме классов, рис. 7. Шаблон основан на существующем шаблоне Декоратор.

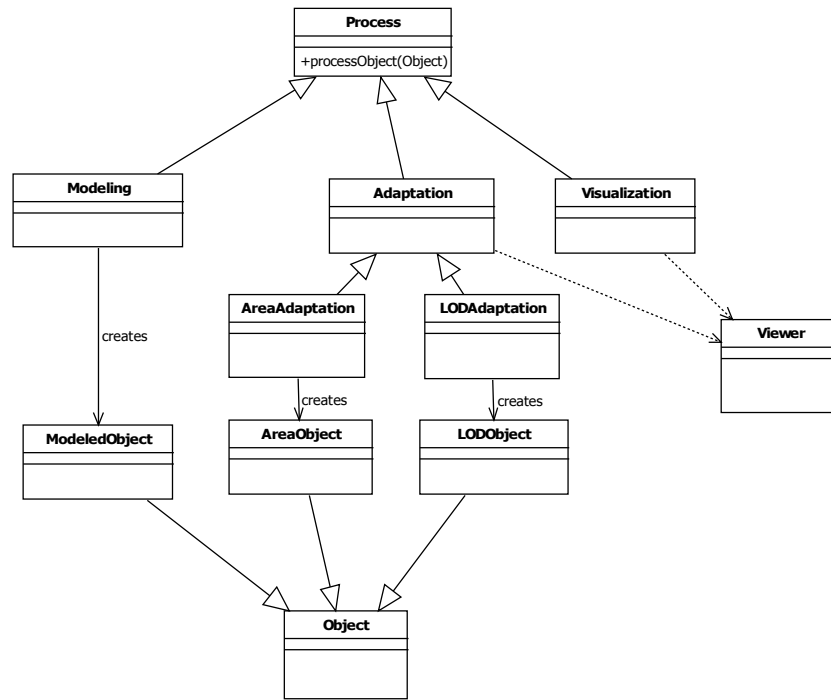


Рис. 7. UML-диаграмма классов последовательности отображения

Класс *Modeling* осуществляет функцию моделирования — перевод объекта из класса *Object* в класс *ModeledObject*. Функция показана в системе уравнений МПО (7) как z .

Класс *AreaAdaptation* осуществляет функцию адаптации для обработки окрестности наблюдателя — перевод объекта из класса *ModeledObject* в класс *AreaObject*. Функция показана в системе уравнений МПО (7) как $a_{окр}$.

Класс *LODAdaptation* осуществляет функцию адаптацию для вычисления степеней детализации — перевод объекта из класса *AreaObject* в класс *LODObject*. Функция показана в системе уравнений МПО (7) как $a_{сд}$.

Класс *Visualization* осуществляет функцию визуализацию — перевод объекта из класса *LODObject* в изображение. Функция показана в системе уравнений МПО (7) как y .

Подсистема отображения функционирует в реальном масштабе времени. Функции последовательности отображения последовательно вызываются при каждом проходе основного цикла приложения, для оперативного обновления выходного визуализированного изображения сцены.

Этап 5. Проектирование подсистемы контроллера

Проектируется модуль обработки ввода, показанный в составе архитектуры на рис. 4; модуль обрабатывает управляющий ввод, полученный от пользователя (изменение положения точки наблюдения и др.) и соответствующим образом воздействует на сущности в модели.

Этап 6. Проектирование подсистемы представления

Проектируется модуль графического интерфейса пользователя (ГПИ), показанный в составе архитектуры на рис. 4; модуль осуществляет вывод информационных (таблицы, списки, деревья) и управляющих элементов для пользователя.

Предлагаемая методика проектирования СОН может быть использована для создания СОН различных сцен: геопространственной, космической, наземной, подводной и др.

Достоинства предложенной методики проектирования СОН:

- отличается от существующих обособленной подсистемой отображения в рамках системы, что позволяет вводить в человеко-машинный интерфейс приложения вспомогательные построения для повышения информативности;
- позволяет уменьшать время на проектирование и отладку создаваемых СОН за счёт повторного использования результатов проектирования;
- может быть использована для создания различных систем СОН: морских, наземных, орбитальных.

Однако, несмотря на перечисленные достоинства, у предложенного подхода есть ограничения. К их числу можно отнести то, что работа с большим объёмом данных достигается за счёт уменьшения производительности СОН, а также то, что подход рассчитан на работу с объектами с постоянным присутствием в сцене.

В четвёртой главе диссертации рассматривается реализация программного средства на основе предложенной методики проектирования СОН. Созданная система ГеоСОН демонстрирует возможности применения трёхмерной визуализации к предметной области геопространства: земной поверхности, спутниковому наблюдению, отслеживанию наземных объектов.

Этапы методики проектирования СОН применяются для создания системы ГеоСОН.

Этап 1. Выбор аппаратно-программных средств

Результат выбора показан в таблице 3.

Этап 2. Общая архитектура приложения

Общая архитектура приложения следует показанной выше на рис. 4, с данными, специфичными для геопространственной сцены (NMEA, NORAD и пр.).

Этап 3. Проектирование подсистемы данных

Результат проектирования дополняет показанную на рис. 6 диаграмму



Рис. 8. Отображение траекторий спутников в созданной прикладной программной системе ГеоСОН

Таблица 3. Аппаратно-программные средства

Системный уровень	Реализация
Язык высокого уровня	C#
Графическое ядро	NASA World Wind
Язык низкого уровня	C#
Графическая библиотека	DirectX Managed
ОС	Windows, .NET
Платформа	PC x86

классов сущностями геопространственной сцены: спутник, судно; сущности наследуют базовый класс *Object*.

Этап 4. Проектирование подсистемы представления

Результат проектирования соответствует показанной на рис. 7 диаграмме классов.

Этапы 5 и 6 не рассматриваются детально, поскольку выходит за рамки темы данной работы.

Система ГеоСОН содержит следующие возможности:

- отображение поверхности;
- моделирование времени, работа как в реальном масштабе времени, так и воспроизведение по заданной дате;
- отображение в трёхмерном режиме и режиме картографической проекции;
- моделирование объектов геопространства, включая спутники, самолёты

Таблица 4. Подсистема отображения в ГеоСОН

Функциональный уровень	Реализация
Представление объектов	Поверхность: полигональная сетка
Вид координатно-временной информации	Реального времени
Характер координатно-временной информации	Синхронная
Структура сцены	Иерархическая ООР
Отсечения	Отсечения в рамках структуры
Распределённость	Нет
Использование СД и ВОИ	На уровне объектов
Работа с массивными сценами	Нет

Таблица 5. Сравнение возможностей отображения

Отображение	Google Earth	ГеоСОН
Спутниковая съёмка поверхности	+	+
Векторные карты поверхности	+	–
Трёхмерный режим	+	+
Картографические проекции	–	+
Траектории объектов	+	+
Зоны видимости объектов	–	+
Спецификация объектов	–	+
КВИ объектов	NMEA	NMEA, NORAD

и суда;

- отображение вспомогательных объектов: траекторий и зон покрытия спутников.

В таблице 5 показано сравнение возможностей отображения различных сущностей в системе Google Earth и созданной системе ГеоСОН.

Наличие данных особенностей даёт преимущества в использовании данной системы для решения задач, где основное внимание уделяется отслеживанию положений объектов: оборонных задач, задач логистики и транспортной промышленности.

В заключении приведены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Созданная *формализованная модель динамической пространственной сцены (МДПС)* отличается от существующих использованием пространственного разбиения совместно с использованием степеней детализации и отсечений, что позволяет учитывать большой динамический диапазон сцены и уменьшать объём данных, обрабатываемых в реальном масштабе времени.

2. Предложенная *модель подсистемы отображения (МПО) СОН* отличается от существующих наличием этапа адаптации, что позволяет вводить в человеко-машинный интерфейс приложения дополнительные построения для повышения информативности отображаемых данных сцены.
3. Разработанная *методика проектирования СОН динамических пространственных сцен* отличается от существующих проектированием сущностей приложения на основе МДПС, и проектированием подсистемы отображения на основе МПО, что позволяет использовать предложенные шаблоны проектирования для сокращения сроков создания новых СОН динамических пространственных сцен.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах.
Публикации, входящие в перечень ВАК:

1. *Горбацевич, Ф. Ф.* Метод проектирования систем отображения и наблюдения / В. К. Шмидт, Ф. Ф. Горбацевич, А. С. Кудрявцев // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*, — 2010. — №6. С. 30–34.
2. Моделирование и визуализация локальных областей на поверхности Земли при наблюдении со спутника / Ф. Ф. Горбацевич, В. К. Шмидт, Г. Б. Галикеев, А. С. Кудрявцев // *Известия Вузов. Приборостроение* — 2009. — №8. С. 53–57.

Публикации, входящие в перечень НТЦ «Информрегистр»:

1. *Горбацевич, Ф. Ф.* Условная визуализация пространственных сцен с использованием динамического графа / Ф. Ф. Горбацевич, В. К. Шмидт, А. С. Кудрявцев // *Электроника и информационные технологии* — 2009. — Выпуск 2 (7). — 0420900067/0099.

Другие публикации и материалы конференций:

1. *Горбацевич, Ф. Ф.* Геопространственные системы отображения и наблюдения / В. К. Шмидт, Ф. Ф. Горбацевич // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*, — 2007. — №2. С. 19–24.
2. Моделирование и визуализация локальных областей на поверхности Земли при наблюдении со спутника / Ф. Ф. Горбацевич, В. К. Шмидт, Г. Б. Галикеев, А. С. Кудрявцев // Международная научно-практическая конференция «Особенности развития космической отрасли России и перспективы её дальнейшей интеграции в систему международных экономических связей» / БГТУ Военмех. — 2007.