

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 519.876.5

СКАЧКОВ МАКСИМ СЕРГЕЕВИЧ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ
ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ
ФОРМАЛЬНЫХ ГРАММАТИК L-СИСТЕМ
И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2005

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет»

Научный руководитель: д.т.н., проф. Урбанович П.П. (Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»); кафедра информационных систем и технологий).

д.т.н., проф. Прихожий А.А. (Учреждение образования «Высший государственный колледж связи»; кафедра программного обеспечения сетей электросвязи).

к.т.н., доц. Бранцевич П.Ю. (Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»; кафедра программного обеспечения информационных технологий).

Оппонирующая организация: Белорусский государственный университет

Защита диссертации состоится 23 июня 2005 г. в 14⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (220013, г. Минск, ул.П.Бровки,6; ауд. 232, тел. 2398989)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Среди разнообразных теорий и методов, применяемых для исследования иерархических (древовидных) структур (ИС), узким местом является отсутствие общесистемных интеграционных подходов. Для решения важной практической задачи необходимы комплексные решения в этой предметной области, связывающие в одну систему формальные, алгоритмические и визуальные представления ИС, что особенно актуально для появившихся в последнее время новых методов формализации иерархий, интенсивного развития средств компьютерной графики и повсеместного признания объектной парадигмы при создании сложных систем.

Моделирование совокупностей, относящихся к одному из наиболее очевидных классов однотипных объектов, имеющих иерархическую структуру, является одной из важнейших задач для лесной отрасли Республики Беларусь. Согласно стратегическому плану развития лесного хозяйства нормативная база его ведения требует доработки в первую очередь по следующим вопросам: а) система лесовосстановления с учетом условий местопроизрастания; б) система рубок ухода в чистых и смешанных молодняках.

Уточнение нормативной базы должно основываться на научно обоснованных прогнозах, которыми могут быть модели, описывающие особенности роста и формирования древесных насаждений. Такие модели должны учитывать индивидуальные характеристики отдельных деревьев. Применение же норм на практике требует подготовки высококвалифицированных специалистов лесного хозяйства, имеющих практический опыт в операциях лесовосстановления и лесопользования. Реализация подобных моделей динамики древостоев в компьютерных системах имитационного моделирования позволит одновременно решить задачи уточнения нормативной базы и подготовки необходимых специалистов.

Известные модели не учитывают естественных особенностей динамики древостоев, характерных для Республики Беларусь и не обеспечивают достаточной точности имитационного моделирования, необходимой для совершенствования нормативной базы ведения лесного хозяйства Беларуси. Точность имитационного моделирования может быть повышена на стадии формального описания ИС, программной реализации и визуализации. Повышение точности на стадии формального описания ИС предполагает использование фрактальных методов формализации иерархий (*L*-системы, *P*-адические числа). Следование объектной парадигме при создании компьютерной системы расширяет диапазон решаемых на практике задач, или иными словами позволяет создавать более сложные и детализированные системы. Реалистичная визуализация невозможна без использования современных средств трехмерной компьютерной графики (DirectX, OpenGL).

Грамматики Линденмайера (*L*-системы) позволяют генерировать сложные самоподобные структуры на основе компактного набора исходных

данных в динамике их развития, что выгодно отличает их от других методов. Известны достижения университета Calgary (Канада) в этой области, где аккумулярован опыт многих исследователей по всему миру (Przemyslaw Prusinkiewicz, Radomir Mech, Mark Hammel). В Республике Беларусь подобные исследования не ведутся.

Таким образом, актуально создание компьютерной системы для имитационного моделирования динамики древостоев, позволяющей уточнить нормативную базу ведения лесного хозяйства Республики Беларусь и обладающей качеством средства обучения. Интеграция метода формальных грамматик L -систем, объектно-ориентированного подхода и средств трехмерной компьютерной графики позволит получить новое качество в исследуемой предметной области.

Выбранное направление исследования – моделирование и визуализация иерархических структур на основе формальных грамматик L -систем и объектно-ориентированного подхода – с одной стороны, является абстракцией более высокого уровня, а с другой – оно базируется на использовании конкретного формального метода (L -системы) и подхода (объектно-ориентированный, связанный с реализацией системы), что позволяет решить важную практическую задачу или предложить шаблон для решения ряда задач из упомянутой области.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Диссертационная работа выполнена на кафедре Информатики и вычислительной техники Белорусского государственного технологического университета в рамках следующих госбюджетных научно-исследовательских работ: БС 99-211 № ГР 19993493 (1999-2000 гг.) «Разработать информационное, математическое и программное обеспечение для справочно-информационной и обучающе-контролирующей системы по лесовосстановлению и лесовыращиванию сосновых насаждений и провести ее опытно-производственную проверку»; БС 21-203, БС 21-303 № ГР 20013810 (2001-2002 гг.) «Разработать и внедрить мультимедийные компьютерные тренажеры для имитационного моделирования процессов лесовыращивания и лесопользования, осуществить авторское сопровождение при внедрении тренажеров на предприятиях заказчика»; БС 97-037, БС 97-038 № ГР 19971450 (1997-1998 гг.) «Разработать игровые обучающие тренажеры, компьютерные справочные пособия, графические и мультипликационные плакаты по эффективному природопользованию и охране окружающей среды».

Цель и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является разработка математического и программного обеспечения для моделирования и визуализации иерархических структур на основе метода формальных грамматик L -систем и объектно-ориентированного подхода и создание на этой основе программного комплекса для моделирования и визуализации чистых древостоев Республики Беларусь.

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе следует решить следующие основные задачи:

1. Провести анализ существующих методов, подходов, алгоритмов и программных продуктов для моделирования и визуализации иерархических структур.

2. Спроектировать программную архитектуру для моделирования и визуализации иерархических структур на основе выбранного метода.

3. В рамках спроектированной архитектуры разработать алгоритмы функционирования программной системы для моделирования и визуализации иерархических структур, реализовать разработанные алгоритмы на одном из объектно-ориентированных языков программирования.

4. Разработать программный продукт для исследования иерархических структур, адаптировать компоненты разработанного программного продукта для решения практической задачи моделирования динамики чистых древостоев.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются иерархические структуры. Предмет исследования – модели иерархических структур, алгоритмы их реализации, методы и алгоритмы визуализации, программное и математическое обеспечение.

Гипотеза. Предполагается, что совместное использование метода формальных грамматик L -систем и объектно-ориентированного подхода позволит создавать модели иерархических структур любой природы, разрабатывать шаблонные решения для ряда задач и решать конкретные практические задачи.

Методология и методы проведенного исследования. При проведении исследования использовались теория сложных систем, теория геометрических фракталов, теория формальных языков и грамматик, метод L -систем. При разработке программного обеспечения использовался объектно-ориентированный подход, в рамках которого применялись наработки следующих методологий: унифицированный процесс компании Rational (RUP – Rational Unified Process) совместно с универсальным языком моделирования UML, экстремальное программирование (XP – Extreme Programming). Использовалась интегрированная среда разработки IDE Delphi, поддерживающая быструю разработку приложений (RAD – rapid application development). Для трехмерной визуализации использовался прикладной программный интерфейс DirectX (application programming interface, API DirectX). При проектировании программной архитектуры учитывались когнитивные ограничения человека – метод абстракций, правило 7 плюс/минус 2 Миллера.

Научная новизна и значимость полученных результатов:

1. Разработан новый шаблон проектирования программных систем (названный «Цепочки символов»), отличающийся совместным использова-

нием объектно-ориентированного подхода и метода формальных грамматик *L*-систем, что облегчает процесс проектирования в предметных областях, описываемых с помощью теории формальных языков и грамматик, а также подсистем на основе строковых операций. Разработанный шаблон представляет объектно-ориентированный интерфейс для реализации метода формальных грамматик, формирует объектный подход к строковым операциям, в отличие от наиболее распространенного функционального.

2. Получены *L*-системы разнородных иерархических структур: связанных общей начальной точкой и парных, отличающиеся возможностью их реализации в одной грамматике; основных видов древостоев для Беларуси (ели и сосны), на основе которых могут быть получены массивы однотипных деревьев и отличающиеся возможностью учета биологических закономерностей формообразования. Получены также *L*-системы неразветвленных структур (деталей машин), отличающихся компактной формализацией, что позволяет моделировать объекты неживой природы.

3. Усовершенствован метод *L*-систем посредством введения в алфавит грамматики дополнительных пар символов, обозначающих корректировку параметров ветвей, что позволяет моделировать массивы однотипных иерархических структур (подобных чистым древостоям) на основе базовой иерархии.

4. Усовершенствованна *gap*-модель динамики древостоев посредством учета пространственных конкурентных отношений, что позволяет увеличить точность компьютерного имитационного моделирования.

Практическая значимость полученных результатов:

1. Разработан программный продукт – инструмент для исследования ИС, отличающийся своей программной архитектурой, ядром которой является шаблон проектирования «Цепочки символов», позволяющий исследовать разнородные иерархические структуры, формализованные с помощью метода формальных грамматик *L*-систем. Модули разработанного программного продукта использованы для решения конкретной практической задачи, а именно: создания подсистемы трехмерной визуализации программного комплекса для моделирования динамики чистых древостоев.

2. Разработан программный комплекс для моделирования динамики древостоев, реализующий усовершенствованную *gap*-модель, отличающийся своей подсистемой трехмерной визуализации на основе усовершенствованного метода *L*-систем, позволяющий уточнять нормативную базу ведения лесного хозяйства Республики Беларусь и обладающий дополнительным качеством компьютерного средства обучения.

3. Программные продукты и их отдельные модули внедрены на предприятиях Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, используются для повышения квалификации специалистов лесного хозяйства Республики Беларусь в учебном центре в п. Ждановичи, а также применяются для проведения деловых игр со студентами по оптимизации процессов

проведения лесохозяйственных мероприятий в Белорусском государственном технологическом университете.

Экономическая и социальная значимость полученных результатов. Экономическая значимость полученных результатов состоит в том, что разработанные программные продукты являются импортозамещающими информационными технологиями для Республики Беларусь. Социальная значимость полученных результатов состоит в том, что разработанный программный комплекс обладает качеством компьютерного средства обучения.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Шаблон проектирования «Цепочки символов», отличающийся совместным использованием объектно-ориентированного подхода и метода формальных грамматик *L*-систем, что облегчает процесс проектирования в предметных областях, описываемых с помощью теории формальных языков и грамматик, а также подсистем на основе строковых операций.
2. Усовершенствованный метод *L*-систем посредством введения в алфавит грамматики дополнительных пар символов, обозначающих корректировку параметров ветвей, что позволяет моделировать и визуализировать массивы однотипных иерархических структур на основе базовой иерархии.
3. Усовершенствованная *gap*-модель динамики древостоев посредством учета пространственных конкурентных отношений, что позволяет увеличить точность компьютерного имитационного моделирования.
4. Программный комплекс для моделирования динамики древостоев, реализующий усовершенствованную *gap*-модель, отличающийся своей подсистемой трехмерной визуализации на основе усовершенствованного метода *L*-систем, позволяющий уточнять нормативную базу ведения лесного хозяйства Республики Беларусь и обладающий дополнительным качеством компьютерного средства обучения.

Личный вклад соискателя. Все новые результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертации результатов.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: I, VI МНТК «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов» (Минск, 1998); Республиканской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Новые компьютерные технологии в науке, технике, производстве и индустрии развлечений» (Гомель, 1998); Республиканской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (Гомель, 2000); МНТК «Леса Беларуси и их рациональное использование» (Минск 2000); III

международная конференция «Новые информационные технологии» (Минск, 2000); МНТК «Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие» (Минск, 2002).

Опубликованность результатов. По результатам выполненных исследований опубликовано 17 печатных работ, в том числе 7 статей (4 – в рецензируемых периодических научных изданиях, 1 – депонированная рукопись, 2 в материалах НТК), 10 тезисов докладов. Общее количество опубликованных материалов составляет 67 стр., из них автору диссертации принадлежит 40 стр. Без соавторов опубликовано 5 работ.

Структура и объем диссертации. Работа изложена на 102 страницах машинописного текста, иллюстрирована 39 рисунками, содержит 4 таблицы; состоит из общей характеристики работы, четырех глав, заключения, приложений и списка использованных источников, включающего 129 отечественных и зарубежных источника. Общий объем работы – 128 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определена область исследования диссертационной работы.

В общей характеристике работы обоснована актуальность проводимого исследования, сформированы цель и задачи работы, охарактеризована научная, практическая, социальная и экономическая значимость полученных результатов, изложены основные положения, выносимые на защиту, объяснен личный вклад автора.

Первая глава. В обзорной главе затронуты важные философские аспекты моделирования иерархических структур: структурно-функциональная дихотомия сложной системы, иерархия и гетерархия (сеть), структурные и системные иерархии. Дается классификация структур, характерных для техники. Приводятся разнообразные примеры иерархических структур. Отмечается, что практически все разветвленные структуры сводятся до иерархических или включают иерархическую составляющую.

Приводится анализ существующих методов, подходов и алгоритмов для моделирования и визуализации иерархических структур. Различается компьютерное моделирование иерархий с помощью структур данных и с помощью моделей данных. Иллюстрируется два основных вида отображения деревьев: графовая диаграмма и вложенные множества.

Значительную часть главы занимает обзор моделей морфогенеза – моделей формообразования в живой природе. Приводится классификация моделей морфогенеза, в которую входят *L*-системы. Грамматики Линденмайера

позволяют генерировать сложные самоподобные структуры на основе компактного набора исходных данных в динамике их развития. В силу своих преимуществ метод *L*-систем был выбран в качестве формализма для моделирования и визуализации ИС.

В отдельном разделе приводится анализ моделей и программных продуктов для моделирования динамики древостоев. Выделяется новое направление в моделировании динамики древостоев – *gap*-модели. В объединенном институте проблем информатики НАН Республики Беларусь разработана и реализована модификация одной из наиболее исследованных *gap*-моделей – модели FORSKA.

Важное значение в первой главе отводится процессу объектно-ориентированного проектирования программного средства, реализующего выбранный метод моделирования иерархий. Результатом этого процесса является программная архитектура. Рассматривается понятие программной архитектуры, делается анализ современных методов, методологий и технологий создания программного обеспечения, а также ограничений, связанных со стандартами и парадигмами.

Результаты анализа позволяют сделать следующие выводы:

1. Существующие методы моделирования иерархических структур характеризуются низкой степенью интеграции и разделением их на математические, компьютерные и биологические.
2. Метод *L*-систем является эффективным средством формализма иерархической составляющей сложной системы, в которой прослеживается структурное и (или) функционально самоподобие.
3. *Gap*-модели являются новым направлением в моделировании древостоев, отличающиеся достаточно высоким уровнем формализации процессов их динамики. Возможность исследовать воздействие на развитие леса таких внешних факторов, как рубки, прореживание, искусственные посадки позволит уточнить нормативную базу ведения лесного хозяйства Республики Беларусь согласно стратегическому плану, что и определило выбор данного вида моделей для имитации динамики древостоев.

Вторая глава посвящена вопросам разработки программной архитектуры для моделирования и визуализации иерархических структур.

В первом разделе главы предметная область исследования уточнена как иерархические структуры на основе метода формальных грамматик *L*-систем. Во втором разделе последовательно описываются полученные в ходе ряда итераций модули программной архитектуры. Основными из таких модулей являются *IC* (Информационный код), *Inv* (Внешняя среда) и *Structure* (Структура).

На рис. 1 приведена UML-диаграмма классов для модуля *IC*. Класс информационный код *PinfCode* связан отношениями ассоциации с классами

терминальный алфавит *TTrmAlph* и нетерминальный алфавит *TnotTrmAlph*, а также с классом продукций *TProduction*. Терминальный и нетерминальный

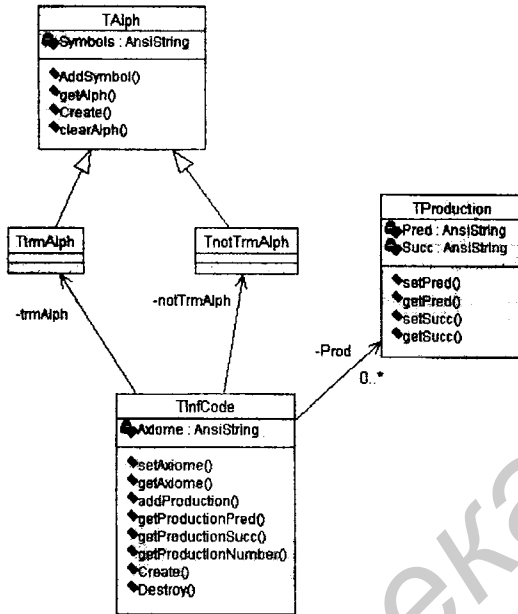


Рис. 1. Диаграмма классов для модуля IC

AddSymbol() позволяет добавить новый символ в цепочку. Функция *getAlph()* возвращает строку, содержащую алфавит. Метод *clearAlph()* очищает алфавит от всех символов.

Класс *TProduction* – программная абстракция порождающих правил формальной грамматики (продукций). Как видно из диаграммы (связь между классами *TInfCode* и *TProduction*), информационный код может содержать от нуля до бесконечного числа продукций. Если не задано ни одной продукции, то отсутствует какое-либо развитие структуры. Класс *TProduction* имеет приватные поля предесессора (символа, подлежащего замене) *Pred* и саксессора (символов, используемых для замены) *Succ* строкового типов, методы установки предесессора и саксессора (*setPred()* и *setSucc()* соответственно) и функции чтения предесессора и саксессора (*getPred()* и *getSucc()* соответственно) для работы с продукциями.

Класс информационного кода *TInfCode* является программной абстракцией информационного кода. Он содержит приватное свойство *Axiome* строкового типа, которое является начальной цепочкой символов. При создании объекта на основе класса в конструкторе *Create()* создается два вспомо-

алфавиты связаны отношением обобщения с общим родителем *TAlph*, образуя иерархию наследования.

Класс *TAlph* является программной абстракцией алфавита формальной грамматики и предназначен для поддержки ограниченного набора символов. Класс имеет свойство *Symbols* строкового типа, которое представляет собой цепочку, состоящую из символов алфавита. При создании объекта на основе класса *TAlph* посредством вызова конструктора *Create()* цепочка символов инициализируется пустой строкой. Вызов метода

гательных объекта – терминальный (*trmAlph*) и нетерминальный алфавит (*notTrmAlph*). С помощью метода *setAxiome()* устанавливается начальная цепочка символов. Функция *getAxiome()* возвращает аксиому. Продукции добавляются в информационный код посредством вызова функции *addProduction()* со строковыми параметрами для предесессора и саксессора. При этом для каждой добавленной продукции создается объект, хранящийся в динамическом массиве продукции *Prod*. Методы *getProductionPred()* и *getProductionSucc()* возвращают соответственно предесессор и саксессор продукции из списка по ее индексу. Функция *getProductionNumber()* возвращает общее количество продукции в информационном коде. Метод *Destroy()* освобождает память, занятую объектом информационного кода и вспомогательными объектами.

Модуль *Inv* представлен одним классом *TInvironment* (рис. 2). В этом классе реализован единственный метод – *isDolche()*. Этот метод возвращает значение истины, если внешняя среда благоприятна и значение лжи, если не благоприятна. Значение возвращается случайным образом, т.е. фактически класс представляет собой заглушку.

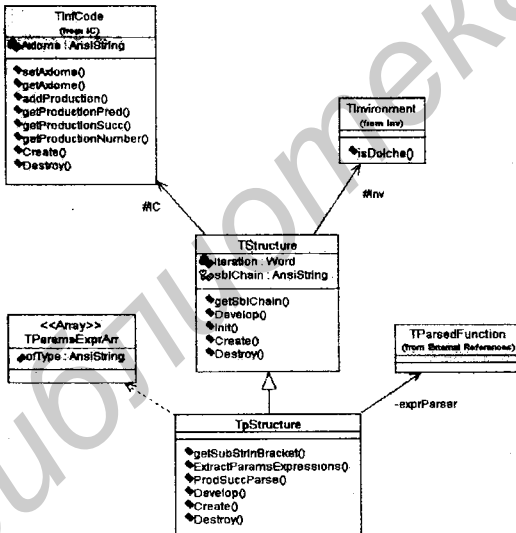


Рис. 2. Диаграмма классов для модуля Structure

поле *Iteration*, в котором хранится значение итерации, указывающее на текущую стадию процесса развития, и защищенное поле *sblChain* – цепочка символов, которая представляет символьный код структуры на *i*-той итерации.

На рис. 2. показана UML-диаграмма классов для модуля *Structure*. Здесь основными являются класс *TStructure* как программная абстракция обычной структуры и класс *TpStructure* как программная абстракция структуры на основе информационного кода, представляющего параметрическую *L*-систему.

Класс структуры связан отношениями ассоциации с информационным кодом *TInfCode* и внешней средой *TInvironment*. Структура содержит приватное

При создании объекта класса *TStructure* в конструкторе *Create()* создаются вспомогательные объекты информационного кода *IC* и окружающей среды *Inv*. Далее вызывается метод инициализации структуры *Init()* с параметром, в котором содержится ссылка на файл данных с *L*-системой, описанной в текстовом формате. При инициализации заполняются поля объекта информационного кода *IC* посредством вызова его методов установки аксиомы *setAxiome()* и добавления продукций *addProduction()* (см. рис. 1); начальное значение поля *Iteration* устанавливается равной нулю, а значение цепочки символов равной аксиоме. Функция *getSblChain()* возвращает текущее значение цепочки символов.

Основным для этого класса является метод *Develop()* (развитие). Он объявлен как виртуальный и может переопределяться при создании потомков от класса *TStructure*. В этом методе происходит перебор всех символов исходной цепочки и проверка является ли этот символ предсdecessором для одной из продукций. При положительной исходе символ заменяется на саксесор в результирующей цепочке и перебор продукций заканчивается. В противном случае символ заменяется сам на себя. В деструкторе *Destroy()* освобождается память, используемая основным и вспомогательными объектами.

В третьем разделе приведенные ключевые абстракции в модулях *IC*, *Inv* и *Structure* (алфавит *TAlph*, продукции *TProduction*, информационный код *TInfCode*, структура *TStructure*, внешняя среда *TEnvironment*) с логическими связями между ними заявляются как шаблон проектирования «Цепочки символов» (см. рис. 3). Шаблон описывается следующим образом:

1. *Имя.* «Цепочки символов»;

2. *Задача.* Ни один, даже небольшой, программный проект не обходится без операций со строками, поэтому необходимо обобщение для большинства строковых операций. Дан-

ный шаблон может быть применим как для проектирования различных строковых операций с данными, так и для более сложных задач, где для моделирования предметной области используется теория формальных языков и грамматик.

3. *Решение.* Данный шаблон относится к категории структурных; диаграмма классов представлена на рис. 3. Описание этой диаграмме соответствует описанию диаграмм на рис. 1 и рис. 2.

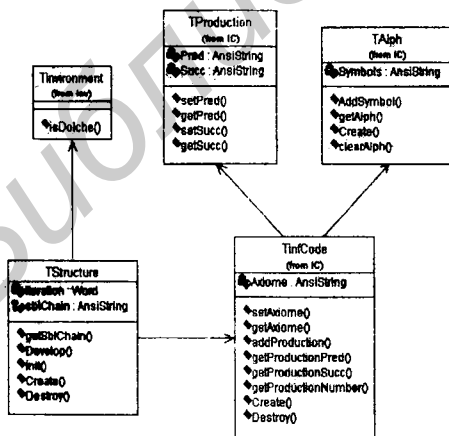


Рис. 3. Шаблон проектирования «Цепочки символов»

4. *Результаты.* Шаблон «Цепочки символов» формирует объектный подход к строковым операциям. Тем не менее, во многих задачах нет необходимости использовать класс *TInvironment* (формирование структуры под воздействием внешней среды). Наиболее эффективным применением этого шаблона видится для проектирования предметных областей, описываемых с помощью формальных грамматик и *L*-систем.

Основные результаты разработки программной архитектуры для моделирования и визуализации иерархических структур являются следующими:

1. Ядро разработанной программной архитектуры абстрагировано до шаблона проектирования «Цепочки символов», применение которого не ограничено исследуемой предметной областью.

2. На основе разработанной программной архитектуры возможно создание программных средств для исследования иерархических структур, отличающихся самоподобием (древостои, речные системы, социальные иерархии).

Третья глава. На базе реализованного метода *L*-систем в рамках разработанной программной архитектуры создан программный продукт для исследования ИС, который предназначен для изучения ИС посредством разработки и тестирования их моделей в виде формальных грамматик *L*-систем. Трехмерная графическая интерпретация *L*-системы выполнена с помощью высокопроизводительного прикладного программного интерфейса Microsoft DirectX8.

В первом разделе проводится сравнение разработанного продукта с подобными наиболее распространенными LS SketchBook, MKokh и Fractint. Разработанный программный продукт для исследования иерархических структур по сравнению с подобными известными отличается своей программной архитектурой, ядром которой является шаблон проектирования «Цепочки символов», и позволяет создавать и исследовать разнотипные иерархические структуры, формализованные с помощью метода *L*-систем. Он также является импортозамещающей технологией для РБ.

Во втором разделе описывается алгоритм работы основной программы. В третьем разделе описывается разработанный графический интерфейс, связывающий события, генерируемые пользователем, с блоками основной программы.

В четвертом разделе представлены результаты исследования, проведенного с помощью разработанного программного средства. Получены модели разнородных иерархических структур: симметричные, несимметричные, связанные общей начальной точкой, парные, сосны и ели (основных видов древостоев для Беларуси), а также модели разветвленных структур, напоминающие детали машин.

Практический интерес представляют полученные L -системы основных видов древостоев, характерных для Беларуси: сосны

$$i=4$$

$$\omega : F(30;0,5)$$

$$\rho l : F(d;t) \rightarrow$$

$$M(d;t)[f(d/2)][+(pi/5)F(d/6;t/4)][+(pi/5)/(pi/2)F(d/6;t/4)][+(pi/5)/(pi)F(d/6;t/4)][+(pi/5)/(3*pi/2)F(d/6;t/4)]f(d/6)[+(pi/5)F(d/3;t/2)][+(pi/5)/(pi/2)F(d/3;t/2)][+(pi/5)/(pi)F(d/3;t/2)][+(pi/5)/(3*pi/2)F(d/3;t/2)]f(d/3)[+(pi/5)F(d/4;t/2)][+(pi/5)/(pi/2)F(d/4;t/2)][+(pi/5)/(pi)F(d/4;t/2)][+(pi/5)/(3*pi/2)F(d/4;t/2)]F(d/2;t/2) \quad (1)$$

и ели

$$i=4$$

$$\omega : F(30;0,5)$$

$$\rho l : F(d;t) \rightarrow$$

$$M(d;t)[f(d/2)][+(pi/2)F(d/6;t/4)][+(pi/2)/(pi/2)F(d/6;t/4)][+(pi/2)/(pi)F(d/6;t/4)][+(pi/2)/(3*pi/2)F(d/6;t/4)]f(d/6)[+(pi/3)F(d/3;t/2)][+(pi/3)/(pi/2)F(d/3;t/2)][+(pi/3)/(pi)F(d/3;t/2)][+(pi/3)/(3*pi/2)F(d/3;t/2)]f(d/3)[+(pi/6)F(d/4;t/2)][+(pi/6)/(pi/2)F(d/4;t/2)][+(pi/6)/(pi)F(d/4;t/2)][+(pi/6)/(3*pi/2)F(d/4;t/2)]F(d/2;t/2), \quad (2)$$



Рис. 4. Графическая интерпретация L -систем (1.2): а – сосна, б – ель

где i – количество итераций; ω – начальная строка; ρl – продукция; F – модули развивающейся части структуры, M – модули устоявшейся части структуры. Саксессоры (часть продукции после символа \rightarrow) данных L -систем достаточно длинные. Это связано с тем, что детально (до второго уровня) учтены биологические закономерности формообразования видов сосны и ели: углы между стволом и ветвями на разной высоте, длина ветвей на разной высоте, затухание длины и толщины (вычисляемые параметры модулей в скобках, где d –

параметр длины; t – параметр толщины; pi – число Пи). Графическая интерпретация L -систем (1,2) представлена на рис. 4. Предполагалось, что деревья не испытывали конкуренции. Биологические закономерности приняты гипоте-

тически, поэтому L -системы (1, 2) именуется в дальнейшем прототип-моделями сосны и ели. Приведенные прототип-модели основных видов древостоев для Беларуси являются новыми, на их основе могут быть разработаны грамматики отдельных деревьев в конкурентной среде как однотипных иерархических структур.

В четвертой главе описывается предложенное математическое и программное обеспечение для программного комплекса по моделированию динамики чистых древостоев. Разработанные модули программной архитектуры и прототип-модели (как названо ранее) сосны и ели использовались для создания подсистемы трехмерной визуализации программного комплекса.

В первом разделе отмечается практическая необходимость моделирования массива однотипных ИС. Различия в однотипных структурах могут быть учтены с помощью корректировки значений параметров в параметрических L -системах. Тогда необходимо каким-то образом обозначить дополнительные позиции (через специальные символы) в L -системе в подстроках, интерпретируемых как математические выражения. Эти специальные символы впоследствии заменяются корректирующими значениями параметров коэффициентами.

Для решения этой задачи создан класс *TPineStructureTemplate*, диаграмма классов для которого показана на рис. 5. Как мы видим, класс *TPineStructureTemplate* наследуется от класса *TpStructure* и связан отношением ассоциации со структурой данных *TCroneRs_ESWN*. Класс имеет приватное свойство *succTemplate*, которое представляет собой саксессор, содержащий специальные символы. Строка саксессора со специальными символами, например, для ИС представленной на рис. 4(а) может быть скорректирована следующим образом:

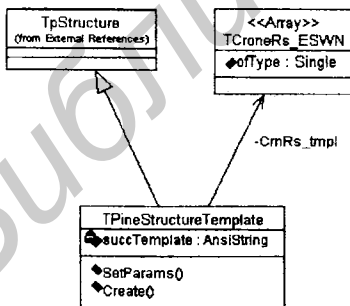


Рис. 5. Диаграмма классов, иллюстрирующая усовершенствование метода L -систем

$$\begin{aligned}
 M(d;t) \mid f(d/2) \mid [+ (pi/5) F(?e*d/6;t/4) \mid [+ (pi/5) / (pi/2) F(?s*d/6;t/4) \mid [+ (pi/5) / (pi) F(?w*d/6;t/4) \mid [+ (pi/5) / (3*pi/2) F(?n*d/6;t/4) \mid f(d/6) \mid [+ (pi/5) F(?e*d/3;t/2) \mid [+ (pi/5) / (pi/2) F(?s*d/3;t/2) \mid [+ (pi/5) / (pi) F(?w*d/3;t/2) \mid [+ (pi/5) / (3*pi/2) F(?n*d/3;t/2) \mid f(d/3) \mid [+ (pi/5) F(?e*d/4;t/2) \mid [+ (pi/5) / (pi/2) F(?s*d/4;t/2) \mid [+ (pi/5) / (pi) F(?w*d/4;t/2) \mid [+ (pi/5) / (3*pi/2) F(?n*d/4;t/2) \mid F(d/2;t/2) .
 \end{aligned}$$

В этой цепочке находятся вхождения $?e$, $?s$, $?w$, $?n$ как часть вычисляемого параметра в математическом выражении. Эти вхождения подлежат замене и имеют следующую семантику: $?e$ озна-

чает место для корректирующих коэффициентов длин ветвей восточного направления дерева, $?s$ – южного, $?w$ – западного, $?n$ – северного.

Предложенный подход является усовершенствованием метода *L*-систем посредством введения дополнительных пар символов в алфавит грамматики с семантикой корректировки параметров ветвей ИС по направлениям и пригоден для моделирования массивов однотипных иерархий, подобных чистым древостоям.

Одним из практических применений усовершенствованного метода *L*-систем является трехмерная визуализация структуры чистых древостоев. Структура чистого древостоя может быть представлена как массив однотипных ИС. Однако выходные параметры *gap*-модели динамики древостоев не могут использоваться для визуализации его структуры непосредственно. Необходимо их доработка.

Во втором разделе главы предложено усовершенствование *gap*-модели динамики древостоев, разработанной в объединенном институте проблем информатики НАН РБ, посредством учета пространственных конкурентных отношений.

Индекс конкуренции K_i каждого дерева рассчитывается по формуле Хайги:

$$K_i = \sum_{j=1}^n \frac{D_j / D_i}{R_{ij}}, \quad (1)$$

где: D_i – диаметр дерева i , для которого рассчитывается индекс конкуренции; D_j – диаметр дерева j , влияющего на индекс конкуренции; R_{ij} – расстояние между i -м и j -м деревьями; n – число конкурентов.

Дополнительно рассчитываются индексы конкуренции по 8 направлениям по той же формуле (1) за исключением того, что рассматриваются деревья, попадающие в сектор 90° с биссектрисой, идущей по этому направлению. На основе индексов конкуренции по направлениям определяются радиусы кроны по направлениям по формуле:

$$CrRs_{id} = CrR_i + CrR_i \frac{K_i - 4K_{id}}{K_i}, \quad (2)$$

где: $CrRs_{id}$ – радиус кроны дерева i по направлению d ; CrR_i – радиус кроны дерева i , если бы крона строилась как круг; K_i – индекс конкуренции дерева i , рассчитанный по формуле (1); K_{id} – индекс конкуренции дерева i по направлению d .

Наряду с взаимным расположением деревьев и их высотой, конфигурация кроны является также одним их наиболее решающих факторов для выбора деревьев в рубку. С использованием полученных данных рассчитывается проекция кроны каждого дерева, выраженная сплайном. Далее по полученному расчетному пространственному распределению древостоя получаем его трехмерную картинку (рис. 6). Для этого на базе прототип-моделей основных

видов, разработаны шаблоны L -систем этих видов, которые на основе конкретных значений биометрических параметров (высота дерева H , радиус ствола R , радиусы кроны по направлениям $TCroneRs_ESWN$) возвращают L -систему для каждого конкретного дерева вида с помощью усовершенствованного метода L -систем.

Приведенное усовершенствование gap -модели позволяет более детально визуализировать каждое дерево (проекцию формы кроны в виде слайна, трехмерная визуализация с учетом радиусов кроны по направлениям), что увеличивает адекватность компьютерного имитационного моделирования и позволяет принимать более обоснованные решения по низовым рубкам.

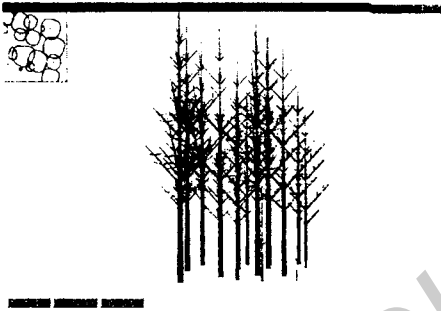


Рис. 6. Трехмерная визуализация деревьев вида сосны

В последующих разделах рассмотрены особенности программного комплекса для моделирования динамики чистых древостоев и его программной реализации.

В заключении сформулированы основные результаты, отражающие вклад автора в разработку избранной научной проблемы.

В первом приложении приводится информационное обеспечение, реализованной gap -

модели динамики чистых древостоев.

Во втором приложении приводятся некоторые термины и их определения, используемые в диссертационной работе.

Во третьем приложении приведены документы, подтверждающие использование результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главный результат диссертационной работы заключается в разработке математического и программного обеспечения для моделирования и визуализации иерархических структур на примере чистых древостоев. Разработанные программные продукты являются импортозамещающими технологиями для Беларуси. Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Разработан новый шаблон проектирования программных систем (названный «Цепочки символов»), отличающийся совместным использованием объектно-ориентированного подхода и метода формальных грамматик L -систем, что облегчает процесс проектирования в предметных областях, опи-

сываемых с помощью теории формальных языков и грамматик, а также подсистем на основе строковых операций. Разработанный шаблон представляет объектно-ориентированный интерфейс для реализации метода формальных грамматик, формирует объектный подход к строковым операциям, в отличие от наиболее распространенного функционального [2,3,5].

2. Разработан программный продукт – инструмент для исследования иерархических структур, отличающийся своей программной архитектурой, ядром которой является шаблон проектирования «Цепочки символов», позволяющий исследовать разнородные иерархические структуры, формализованные с помощью метода формальных грамматик L -систем. Модули разработанного программного продукта использованы для решения конкретной практической задачи, а именно: создания подсистемы трехмерной визуализации программного комплекса для моделирования динамики чистых древостоев [1-3].

3. Получены L -системы разнородных иерархических структур: связанных общей начальной точкой и парных, отличающиеся возможностью их реализации в одной грамматике; основных видов древостоев для Беларуси (ели и сосны), на основе которых могут быть получены массивы однотипных деревьев и отличающиеся учетом биологических закономерностей формообразования. Получены также L -системы неразветвленных структур (деталей машин), отличающихся компактной формализацией, что позволяет моделировать объекты неживой природы [1,8-10].

4. Усовершенствован метод L -систем посредством введения в алфавит грамматики дополнительных пар символов, обозначающих корректировку параметров ветвей, что позволяет моделировать массивы однотипных иерархических структур (подобных чистым древостоям) на основе базовой иерархии [1,2].

5. Усовершенствована *gap*-модель динамики древостоев посредством учета пространственных конкурентных отношений, что позволяет увеличить точность компьютерного имитационного моделирования [1,8].

6. Разработан программный комплекс для моделирования динамики древостоев, реализующий усовершенствованную *gap*-модель, отличающийся своей подсистемой трехмерной визуализации на основе усовершенствованного метода L -систем, позволяющий уточнять нормативную базу ведения лесного хозяйства Республики Беларусь и обладающий дополнительным качеством компьютерного средства обучения. Программный комплекс и его отдельные модули внедрены на предприятиях Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, используются для повышения квалификации специалистов лесного хозяйства в учебном центре Министерства лесного хозяйства, а также применяются для проведения деловых игр со студентами в Белорусском государственном технологическом университете [1,4,8-12].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах:

1. Н.И. Гурин, В.П. Григорьев, М.С. Скачков, В.С. Микуцкий. Компьютерная система для имитационного моделирования динамики древостоев. // Сб. Труды БГТУ. Сер. I. Лесное хозяйство. – Мн., 2004. – Вып. VII. – С. 50-56.
2. Скачков М.С. Моделирование и визуализация иерархических структур на основе L -систем и объектно-ориентированного подхода. / Белорус. гос. технолог. ун-т.– Мн., 2004. – 13 с. – Деп. в БелИСА 29.10.04. – № 200493 – URL: <http://www.belisa.org.by>
3. Скачков М.С. Моделирование и визуализация процессов развития растений. // Сб. Труды БГТУ. Сер. VI. Физико-математические науки информатика. – Мн., 2002. – Вып. X. – С. 102-106.
4. Скачков М.С. Компьютерная обучающе-контролирующая система (КОКС) “Лесовосстановление и лесовыращивание” // Сб. Труды БГТУ. Сер. VII. Учебно-методическая работа. – Мн., 2000. – Вып. V. – С. 92-97.
5. Урбанович П.П., Пацей Н.В., Скачков М.С. Закономерности распределения ошибок в каналах передачи дискретной информации. // Известия Белорусской инженерной академии.–1999. – №1(7)/1. – С.18.

Статьи в материалах научно-технических конференций:

6. Урбанович П.П., Гурин Н.И., Романов Ю.А., Дубинец С.М., Асадчий А.В., Кишкурно Т.В., Брусенцова Т.П., Пухов К.В., Скачков М.С., Краевский А.М., Чумаков Л.С., Челноков А.А., Ющенко Л.Ф., Шабанова В.И., Овсянникова О.Л. Компьютерные мультимедийные учебники по проблемам экологии Беларуси. // Природопользование и охрана окружающей среды-2000: Сб. статей. / Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси; Под общей редакцией академика Лиштвана И.И. – Мн., 2000. – С. 115-116.
7. Урбанович П.П., Гурин Н.И., Романов Ю.А., Кишкурно Т.В., Брусенцова Т.П., Скачков М.С. Разработка мультимедийных компьютерных учебников по проблемам экологии. Урбанович П.П., Гурин Н.И., Скачков М.С. и др. // Природопользование и охрана окружающей среды: Сб. статей. / Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Бе-

ларуси; Под общей редакцией академика Лиштвана И.И. – Мн., 1998. – С. 110-112.

Тезисы докладов:

8. Гурин Н.И., Скачков М.С., Микуцкий В.С. Имитационное моделирование динамики древостоев на основе *gap*-модели разбиением на классы по высоте. // Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие: Материалы докладов международной научно-технической конференции 4-6 декабря 2002 г., г. Минск: в 2-х ч. – Мн.: БГТУ, 2002. Ч.1. – С. 177-180.

9. Гурин Н.И., Григорьев В.П., Скачков М.С., Микуцкий В.С. Имитационное моделирование рубок ухода на основе мультимедийного интерфейса. // Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие: Материалы докладов международной научно-технической конференции 4-6 декабря 2002 г., г. Минск: в 2-х ч. – Мн.: БГТУ, 2002. Ч.1. – С. 174-177.

10. Гурин Н.И., Григорьев В.П., Скачков М.С. Имитационное моделирование роста леса с использованием мультимедийного интерфейса // Новые информационные технологии: Тр. междунар. конф. Минск, 5-7 декабря 2000г.: В 3-х кн. Кн.3. – Мн.: БГЭУ, 2000. – С. 123-126

11. Гурин Н.И., Григорьев В.П., Скачков М.С. Компьютерное имитационное моделирование роста сосновых древостоев на основе мультимедийного интерфейса // Леса Беларуси и их рациональное использование: Материалы международной научно-технической конференции / Белорусский государственный технологический университет. – Мн., 2000. – С. 44-46.

12. Скачков М.С. Некоторые особенности компьютерной обучающе-контролирующей системы Лесовосстановление и лесовыращивание (КОКС) // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: Материалы республиканской научно-технической конференции студентов и аспирантов, 13-18 марта 2000г. / Мин. образования РБ. Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины. – Гомель, 2000. – С. 94-95.

13. Урбанович П.П., Гурин Н.И., Скачков М.С. Мультимедийные компьютерные учебники и тренажеры по экологическому образованию. // Тезисы докладов межд. научно-технич. конференции “Европа – наш общий дом: Экологические проблемы” – Мн., 1999. – С. 37-38.

14. Гурин Н.И., Скачков М.С. Организация электронных тренажеров по рациональному природопользованию в мультимедийной среде. // Эколо-

гическое образование – 98: Материалы республиканской научно-методической конференции. – Мн.: БГТУ, 1999. – С. 21-22.

15. Урбанович П.П., Гурин Н.И., Романов Ю.А., Скачков М.С. Разработка мультимедийных электронных учебников и тренажеров по проблемам экологии. // Информационные технологии в образовании: Тезисы докладов научно-методической конференции. 1-4 ноября 1999 г. – Мн.: БГУ, 1999. – С. 53-54.

16. Скачков М.С. К методике создания мультимедийных электронных учебников // Новые компьютерные технологии в науке, технике, производстве и индустрии развлечений: Материалы республиканской научно-технической конференции студентов и аспирантов, 9-13 марта 1998г. / Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины. – Гомель, 1998. – С. 22-23.

17. Гурин Н.И., Романов Ю.А., Скачков М.С. Технология разработки мультимедийных обучающих систем. // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: Материалы международной научно-технической конференции 22-25 сент. 1998 г. / БГТУ – Мн., 1998.- С. 151-152.

Скачки

РЭЗІЮМЭ

дысертациі Скачкова Максіма Сяргеевіча

«Мадэліраванне і візуалізацыя іерархічных структур на аснове фармальных граматык L -сістэм і аб'ектна-арыентаванага падыходу»

Ключавыя словы: іерархічная структура, фармальная граматыка, L -сістэма, фрактал, аб'ектна-арыентаваны падыход, праектаванне праграмнага сродку, праграменная архітэктура, машынная графіка.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца іерархічныя структуры. Прадмет даследавання – мадэлі іерархічных структур, алгарытмы іх рэалізацыі, метады і алгарытмы візуалізацыі, праграмнае і матэматычнае забеспячэнне.

Мэтай дысертacyjнага даследавання з'яўляецца распрацоўка матэматычнага і праграмнага забеспячэння для мадэліравання і візуалізацыі іерархічных структур на аснове метаду фармальных граматык L -сістэм, аб'ектна-арыентаванага падыходу і стварэння на гэтай аснове праграмнага комплексу для мадэліравання і візуалізацыі чыстых дрэвастоеў Рэспублікі Беларусь.

Навуковая навізна атрыманых вынікаў заключаецца ў распрацоўцы новага архітэктурнага шаблону, які аблягчае працэс праектавання прадметных абласцей, апісваемых з дапамогай тэорыі фармальных моў і граматык, а таксама тых падсістэм, дзе вырашальнае значэнне маюць радковыя аперацыі; у распрацоўцы L -сістэм асноўных відаў дрэвастоеў для Беларусі (сасны і елкі), якія адрозніваюцца ўлікам біялагічных заканамернасцей формаўтварэння, на аснове якіх могуць быць атрыманы масівы аднатыповых дрэў; у ўдасканаленні метада L -сістэм з дапамогай увядзення ў алфавіт граматыкі дадатковых пар сімвалаў, якія абазначаюць карэкціроўку параметраў галін, што дазваляе мадэліраваць масівы аднатыповых іерархічных структур (падобных да чыстых дрэвастоеў) на аснове базовы іерархіі; ва ўдасканаленні *gap*-мадэлі дынамікі дрэвастоеў пры дапамозе ўліку прасторавых канкурэнтных адносінаў, што дазваляе павялічыць дакладнасць (адэкватнасць) камп'ютэрнага імітацыйнага мадэліравання.

Распрацаваны праграмы прадукт для даследавання іерархічных структур, модулі якога выкарыстоўваліся пры стварэнні падсістэмы трохмернай візуалізацыі праграмнага комплексу для мадэліравання дынамікі чыстых дрэвастоеў. Распрацаванае праграмнае забеспячэнне выкарыстоўваецца для павышэння кваліфікацыі спецыялістаў лясной гаспадаркі і ў вучэбным працэсе.

РЕЗЮМЕ

диссертации Скачкова Максима Сергеевича

«Моделирование и визуализация иерархических структур на основе формальных грамматик L -систем и объектно-ориентированного подхода»

Ключевые слова: иерархическая структура, формальная грамматика, L -система, фрактал, объектно-ориентированный подход, проектирование программного средства, программная архитектура, машинная графика.

Объектом исследования являются иерархические структуры. Предмет исследования – модели иерархических структур, алгоритмы их реализации, методы и алгоритмы визуализации, программное и математическое обеспечение.

Целью диссертационного исследования является разработка математического и программного обеспечения для моделирования и визуализации иерархических структур на основе метода формальных грамматик L -систем и объектно-ориентированного подхода и создание на этой основе программного комплекса для моделирования и визуализации чистых древостоев Республики Беларусь.

Научная новизна полученных результатов заключается в разработке нового архитектурного шаблона, облегчающего процесс проектирования в предметных областях, описываемых с помощью теории формальных языков и грамматик, а также подсистем на основе строковых операций; в разработке L -систем основных видов древостоев для Беларуси (сосны и ели), отличающихся учетом биологических закономерностей формообразования, на основе которых могут быть получены массивы однотипных деревьев; в усовершенствовании метода L -систем посредством введения в алфавит грамматики дополнительных пар символов, обозначающих корректировку параметров ветвей, что позволяет моделировать массивы однотипных иерархических структур (подобных чистым древостоям) на основе базовой иерархии; в усовершенствовании *gap*-модели динамики древостоев посредством учета пространственных конкурентных отношений, что позволяет увеличить точность (адекватность) компьютерного имитационного моделирования.

Разработан программный продукт для исследования иерархических структур, модули которого использовались при создании подсистемы трехмерной визуализации программного комплекса для моделирования динамики чистых древостоев. Разработанное программное обеспечение используется для повышения квалификации специалистов лесного хозяйства и в учебном процессе.

SUMMARY

of the PhD-Thesis

«Modelling and visualization of hierarchical structures on the basis of formal grammar *L*-systems and object-oriented approach»

by Skachkou Maksim Sergeevich

Key words: hierarchical structure, formal grammar, *L*-system, fractal, object-oriented approach, software engineering, program architecture, computer graphics.

The object of research are hierarchical structures. The subject of research - models of hierarchical structures, algorithms of their implementation, methods and algorithms of visualization, mathematical support and the software.

The aim of dissertational research is development of mathematical support and software for modelling and visualization of hierarchical structures on the basis of formal grammar *L*-systems method and object-oriented approach; creation (on this base) of a program complex for modelling and visualization of pure forest stands in the Republic of Belarus.

Scientific novelty of the received results consists in development of a new architectural pattern facilitating the process of engineering of subject domains, described with the help of the formal grammar theory, and subsystems on the basis of string operations; in development of *L*-systems of the main species of forest stands in Belarus (pine, spruce) differing in account of biological regularities of morphogenesis which may serve as a basis for obtaining series of similar trees; in improvement of the *L*-system method by introducing into the grammar alphabet additional pairs of symbols defining correction of branches parameters that allows to model series of similar hierarchical structures (like pure forest stands) on the basis of the basic hierarchy; in improvement of the gap-model of forest stands dynamics taking into account spatial competitive relations that allows to increase adequacy of computer imitation modelling.

The software product for the investigation of hierarchical structures has been developed. The units of that product were used in the process of development of a subsystem of three-dimension visualization of a program complex for modelling pure forest stands dynamics. The software developed is used for improvement of professional skills of forestry experts and in an educational process.

СКАЧКОВ МАКСИМ СЕРГЕЕВИЧ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ
ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ
ФОРМАЛЬНЫХ ГРАММАТИК L -СИСТЕМ
И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать	16.05.2005.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».		Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,3.		Тираж 60 экз.	Заказ 314.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6.