

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бочвар Д.А. К вопросу о парадоксах математической логики и теории множеств. // Математический сборник. № 1, 1944, т. 15 (57). С. 369 – 384.
2. Вopenка П. Математика в альтернативной теории множеств. М.: Мир, 1983, С. 148.
3. Розоноэр Л.И. О выявлении противоречий в формальных теориях. Автоматика и телемеханика, 1983, № 6, 7.
4. Герман О. В. Об одном варианте исчисления ненадежных и противоречивых решений для экспертных систем. В кн. "1-я Всеукраинская конференция по программированию УКРПРО' 98". Киев, НАН Украины, 1998.
5. Отчет о НИР "Разработка теоретических основ исчисления спецификаций сложных систем" ГБЦ № Т97-321, № гос. рег. 19982351, Минск, БГУИР, 2000, С. 109.

УДК 519.6:59

М.С. Скачков, ассистент

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

Integration of L-systems to gap-models and object-oriented approach are given applied to plants modeling and visualization.

Современные информационные технологии в области биологического моделирования (L-системы, gap-модели), 3D-графики (DirectX, OpenGL), а также объектно-ориентированный подход позволяют осуществлять моделирование и визуализацию процессов развития растений на более высоком уровне.

Целью данной статьи является описание предлагаемой гибкой модульной модернизируемой мультимодели развития растений, опираясь на последние достижения в области современных информационных технологий.

В настоящее время существуют различные модели развития растений и растительных сообществ: L-системы, gap-модели, популяционные модели, модели посадок, модели разреживания и др. В большинстве своем они разрабатывались для древостоев, но могут быть применимы и для других видов растений. Gap-модели и L-системы возникли совсем недавно и интенсивно развиваются.

#### **Gap-модели.**

Gap-модели представляют в динамике индивидуальные особенности каждого отдельного растения. Развитие растения описывается дифференциальными уравнениями. При этом учитывается конкуренция за свет и питательные ресурсы. Рождение и гибель описываются вероятностными законами. Дальнейшее развитие gap-моделей связано с учетом пространственной структуры, т.е. описанием расположения растений на выделенной площадке. Учет пространственной структуры позволяет ввести в модель конкуренцию за площадь питания, влияние каждого растения на динамику развития, а также возможность исследовать в дальнейшем воздействие на развитие таких внешних факторов, как прореживание, искусственные посадки и т.д. [4].

#### **L-системы.**

В 1968 г. Аристрид Линденмайер предложил формализм для имитации развития многоклеточных организмов, впоследствии названный L-системами. Первоначально L-

системы были закрытыми кибернетическими системами, тесно связанными с абстрактными автоматами и формальными языками, и не могли имитировать какое-либо взаимодействие с окружающей средой. Новый толчок в своем развитии L-системы получили после их применения к моделированию формы растений и процессов их развития. Также была предложена техника визуализации моделируемых структур и процессов. Следует отметить важное свойство, присущее L-системам, а именно – генерация сложных структур на основе компактного набора исходных данных, что позволяет называть их также и L-фракталами [1].

L-система – это формальная грамматика для трансформации (перерисовки) исходной строки (аксиомы, инициатора) в результирующую строку. Трансформация базируется на порождающих правилах (правилах перерисовки), которые определяют, каким образом исходные символы заменяются на результирующие. Рекурсивно применяя порождающие правила, можно получить результирующую строку со сложной фрактальной структурой. Каждый символ в результирующей строке интерпретируется в зависимости от того, что мы хотим смоделировать. Применительно к графической интерпретации символы трактуются как команды пера. Алгоритм, реализующий L-системы в графическом виде, получил название turtle-графика и представляет собой интерпретатор кодового слова, являющегося результатом выполнения L-системы. Касательно моделирования развития формы растений L-системы – параллельные системы перерисовки, оперирующие с разветвленными структурами, которые в строковом виде представлены модулями, заключенными в квадратные скобки. Применимость порождающих правил зависит от окружения предшествующего символа (в контекстно-зависимых L-системах), значений параметров (в параметрических) и от случайных факторов (в стохастических). В общем случае порождающее правило выглядит следующим образом:

$$id : lc < pred > rc : cond \rightarrow succ : prob,$$

где *id* – идентификатор порождающего правила; *lc* – левый контекст; *pred* – предшествующий символ; *rc* – правый контекст; *succ* – результирующий символ; *prob* – вероятность применимости порождающего правила. Обязательными являются только два поля – *pred* и *succ* [2],[3].

В отличие от порождающих правил, применяемых параллельно на каждой итерации, интерпретация результирующей строки производится последовательно слева направо в соответствии с зарезервированными модулями (символами или наборами символов), которые управляют графическим пером (наподобие черепаший графики языка

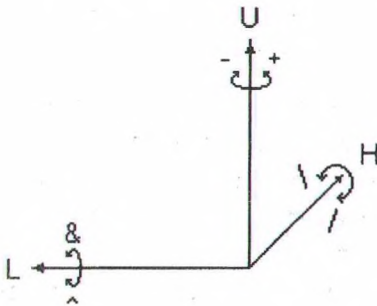


Рис. 1. Управление пером в трехмерном пространстве

Лого). В любой момент времени перо характеризуется вектором положения *P* и тремя взаимно перпендикулярными векторами *H*, *U* и *L*, определяющими направления пера вперед, вверх и влево. Модуль *F* заставляет перо нарисовать линию в текущем направлении. Модули *+*, *-*, *&*, *^*, */* и *\* вращают перо вокруг векторов *H*, *U* или *L*, как показано на рис. 1. Толщина линии и величина угла вращения могут быть заданы как глобальные переменные или как параметры для каждого конкретного модуля. Разветвленная структура интерпретируется следующим образом: если интерпретатор встречает открытую квадратную скобку, то текущая позиция и направление пера по-

мещаются в стек, если закрытую – информация о позиции и ориентации извлекается из стека.

L-системы в основном ориентированы на моделирование отдельных растений или биогрупп. Последние направления в развитии математической теории L-систем, связанные в основном с учетом взаимодействия моделируемых объектов с окружающей средой, привели к появлению различных их разновидностей (табулированные, параметрические, чувствительные к окружающей среде, открытые), что позволяет имитировать процессы развития более больших групп растений (в пространственных рамках). В последнем случае колоссально возрастает количество операций как при математических расчетах, так и при визуализации по сравнению с обычными моделями. В настоящее время эффективное моделирование растительных сообществ с помощью L-систем под силу только суперкомпьютерам. Поэтому эффективной видится дальнейшая детализация гар-моделей с учетом пространственной структуры в плане визуализации посредством L-систем.

### Обобщенная модель развития.

К моделированию развития растений применим объектный подход. Построим сначала общую модель развития абстрактного объекта (рис. 2) на основе триединства моделирования (система математической, объектной и пространственной моделей), затем конкретизируем ее применительно к развитию растений.

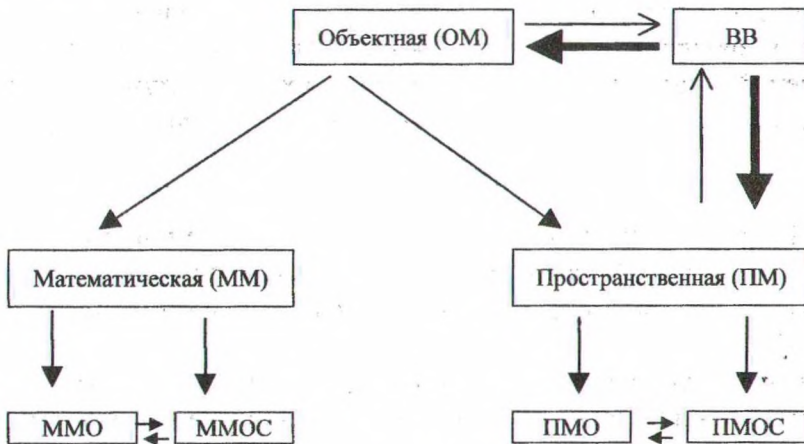


Рис. 2. Модель развития абстрактного объекта на основе триединства моделирования (ОМ – объектная модель, ММ – математическая модель развития, ПМ – пространственная модель, ММО – математическая модель развития абстрактного объекта, ММОС – математическая модель окружающей среды, ПМО – пространственная модель абстрактного объекта, ПМОС – пространственная модель окружающей среды, ВВ – влияние извне)

Под абстрактным объектом (АО) будем понимать определение объекта согласно объектно-ориентированному программированию. Необходимым условием развития АО является наличие хотя бы одного изменяемого свойства. АО развивается под влиянием внутреннего алгоритма (если таковой существует) и под влиянием окружающей среды, которая тоже рассматривается как АО или как система АО (допустимо такого же типа). Важно, что АО также влияет на окружающую среду. Это влияние локально. Тогда при низкой «восстановительной реакции» окружающей среды или (и) при высокой степени активности АО необходимо учитывать область модифицированной окружающей среды.

Математическая и пространственная модели инкапсулированы в объектной. Механизмы подчиненных моделей задействуются посредством вызова методов расчета и визуализации для математической и пространственной моделей соответственно. Блоки ММО, ММОС, ПМО, ПМОС являются структурными для пространственной и математической моделей соответственно. Изменения (ВВ) в процессе счета возможны только для объектной модели. Возможны 2 вида изменений – напрямую и через пространственную модель.

Динамика моделирования заключается в генерации или рецепции (в случае замены ММ опытными данными) ценной информации для объектов во времени. Под информацией (данными) будем понимать запомненное состояние свойств объектов [6]. Математическая модель представлена набором правил развития объектов во времени, пространственная – наборами правил визуализации объектов в пространстве. Наборы правил могут устанавливаться только при инициализации моделей. Выбором альтернативных вариантов расчета достигается гибкость моделирования.

### Система моделирования OOGap.

Описанные выше подходы лежат в основе системы моделирования OOGap (среда разработки – Delphi5). Шаг модели – 1 год. Алгоритм ее работы:

1. Инициализация (установка наборов правил и начальных значений свойств). Для инициализации можно использовать ГИС «Лесные ресурсы».
2. Моделирование на N лет с использованием методов ММ, запоминание ценной из сгенерированной информации.
3. Визуализация (DirectX8, L-системы).
4. Просмотр результатов по годам.
5. Корректировка при ВВ.
6. Далее при необходимости повторение с п.2.

Классы ОМ представлены на рисунке 3.

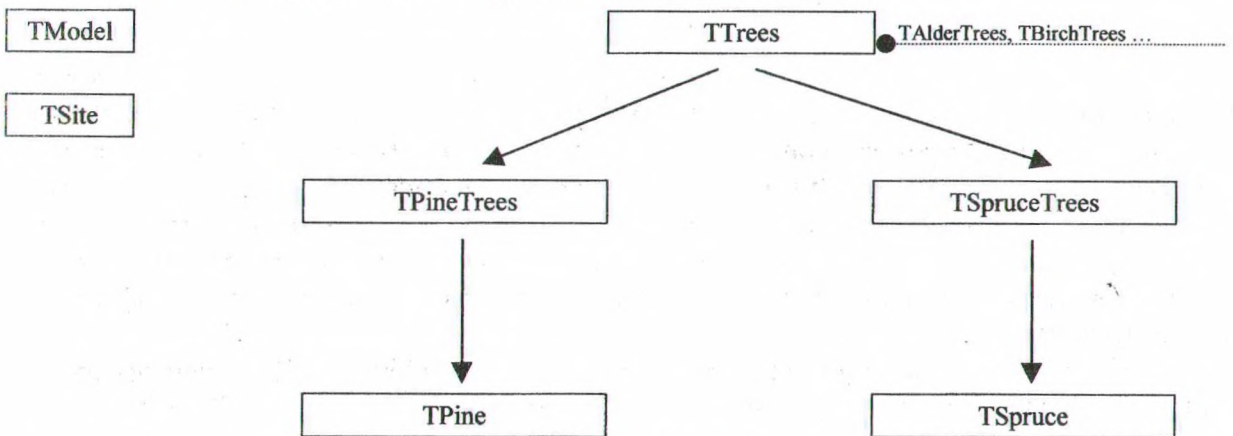


Рис. 3. Пример объектной модели (TModel – параметры модели; TSite – параметры площадки; TTrees – общие видовые параметры; TPineTrees и TSpruceTrees – видовое разнообразие для видов сосны и ели соответственно; TAlderTrees, TBirchTrees – расширение модели с подключением других видов; TPine, TSpruce – класс дерева сосны и ели соответственно)

В качестве ММ используется gap-модель с учетом пространственной структуры [4]. ПМ – визуализация на основе функций DirectX. В качестве ПМО применяются L-системы, описанные в [3]. ВВ – рубки, прореживание, искусственные посадки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Przemyslaw Prusinkiewicz, Mark Hammel, Jim Hanan, and Radomir Mech. L-systems: from the theory to visual models of plants. In M. T. Michalewicz, editor, *Proceedings of the 2nd CSIRO Symposium on Computational Challenges in Life Sciences*. CSIRO Publishing, 1996.
2. Radomir Mech and Przemyslaw Prusinkiewicz. Visual Models of Plants Interacting with Their Environment. Proceedings of SIGGRAPH 96 (New Orleans, Louisiana, August 4-9, 1996). In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1996*, ACM SIGGRAPH. P. 397-410.
3. Przemyslaw Prusinkiewicz, Mark James, and Radomir Mech. Synthetic Topiary. Proceedings of SIGGRAPH 94 (Orlando, Florida, July 24-29, 1994). In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1994*, ACM SIGGRAPH. P. 351-358.
4. Микуцкий В.С. Агрегированная модель динамики древостоя. – Мн., 1996. – 18 с. (Препринт / Ин-т техн.кибернетики АН Беларуси; N 1).
5. Бадд Т. Объектно-ориентированное программирование в действии / Пер. с англ. – СПб.: Питер, 1997. – 464 с.
6. Чернавский Д. С. Синергетика и информация: Динамическая теория информации. – М.:Наука, 2001. – 244 с.

УДК 621.3.049.77

А.В. Орлов, ассистент; Д.М. Романенко, аспирант

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК В ЭЛЕМЕНТАХ ПАМЯТИ

The article are considered some aspects of modeling memory, failure distribution, optimization of correction the mistakes with a new type of the code – three-dimensional iterative code. New model of the memory is analyzed.

Компьютерная модель памяти предназначена для рассмотрения алгоритмов распределения отказов в элементах памяти, оптимизации нахождения ошибок, расчета и определения эффективности исправляющих корректирующих кодов. Структурная схема памяти (рис. 1) представлена в виде изменяющего набора микросхем памяти с плавающими характеристиками, т. е. количество и размерность можно задавать вручную. Для этого используется диалоговое окно, где задается количество микросхем памяти, количество строк и столбцов (учитывая столбцы и строки исправляющих кодов) в каждой микросхеме.

Максимальное количество микросхем памяти –  $7FF0_{16}$  (32752), максимальное количество строк и столбцов (с учетом исправляющих кодов) по  $7FF0_{16}$  (32752).

Анализ методом имитационного моделирования заключается в определении происходящих в системе памяти событий и их привязки к моментам дискретного времени и элементам системы.

Время, в котором функционирует моделируемый объект, называется *модельным*. Дискретизация модельного времени производится путем разбиения заданного для имитации интервала  $[0, T_k]$  на участки. Любое событие, происшедшее на участке с границами  $t_i$  и  $t_{i+1}$ , считается происшедшим в момент времени  $t_{i+1}$ .