

## ЭВОЛЮЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ. Л-СИСТЕМЫ

Славщик А.А.

научный руководитель д-р техн. наук Бронов С.А.

*Сибирский федеральный университет*

*Институт Космических и Информационных Технологий, НУЛ САПР*

Эволюционные вычисления в широком смысле можно определить как область информатики, в которой используются вычислительные модели, аналогичные идеям Дарвиновского эволюционного процесса. Существует огромное множество методов оптимизации на основе эволюционных методов (например, муравьиный алгоритм, алгоритм имитации отжига). Одним из эволюционных методов решения задач алгоритмической композиции (процесса генерации музыкальных отрывков, мелодий и произведений с помощью вычислительных методов) являются Л-системы, лежащие на стыке таких сфер математики, как эволюционные методы и формальная грамматика.

Л-системы были описаны в 1968 году венгерским ботаником Аристидом Линденмайером для изучения развития простых многоклеточных организмов, позже базис Л-систем был расширен для моделирования сложных ветвящихся структур — разнообразных деревьев и цветов. Впервые для решения задач автоматической генерации музыки их применил в своей диссертации 1996 года американский программист и композитор Люк Дюбуа.

Как описывает Диас-Герез Густаво в своей диссертации «Алгоритмическая композиция: использование математических моделей в музыке», в основе работы Л-систем лежит набор правил замещения, рекурсивно применяющийся на начальную строку символов и интерпретирующий конечную строку как структурные элементы организма. Правила замещения определяют как каждый конкретный символ в текущем поколении должен быть перемещен. Базовое описание контекстно-независимой системы заключается в формуле:

$$G = |A, P, \alpha|, \quad (1)$$

где  $A$  – алфавит системы (набор всех символов включая пустой символ,  $\epsilon$ ),  $P$  – это конечной набор правил замещения (определенный в виде входящий символ - выходящий символ<sub>1</sub>, выходящий символ<sub>л</sub>), и  $\alpha$  – символ или строка из алфавита, используемая в качестве начального состояния. Также в работе алгоритма участвуют  $A^*$  – набор всех возможных символов строк из  $A$ ,  $A^+$  – набор всех возможных символьных строк без пустого символа. Л-системы не имеют конечных символов, хотя конечный символ может быть эмулирован путем замены текущего символа на самого себя.

Так как чаще всего Л-системы используются для моделирования роста растений, раковин моллюсков, пчелиных сот и т.д., поэтому основным представлением работы Л-системы является графическое. Чаще всего для этого используется так называемый «черепаший язык», описанный Антоном Швецом в книге «Примеры программ Perl». Черепаха находится на координатной плоскости и может передвигаться по ней только вперед, но может также поворачиваться на месте. При движении черепаха способна чертить линию карандашом, или двигаться, не оставляя за собой след. Есть возможность заменять карандаши, и тем самым управлять толщиной линии и её цветом. «Черепаший язык» является основой языка программирования LOGO.

Основные команды передаваемые «черепахе» следующие:

$F$  – один шаг вперед – рисование сегмента линии;

$\psi$  – задание угла для поворота черепахи;

- + - поворот влево на заданный угол;
- - поворот вправо на заданный угол;
- [ - сохранение заданной позиции и угла;
- ] – восстановление исходных позиций;
- / - глубина итерации.

В качестве примера можно привести простую систему, имитирующую рост водорослей *Léymna* на стоячей воде, также впервые смоделированную Аристидом Линденмайером:

- символы - A B;
- начальное положение – A;
- правила замещения - (A → AB), (B → A);

В итоге получаем следующую последовательность поколений:

Таблица 1 – Последовательность поколений водорослей *Léymna* на стоячей воде

Поколение	Состояние
0	A
1	AB
2	ABA
3	ABAAB
4	ABAABABA
5	ABAABABAABAAB
6	ABAABABAABAABABAABAABAABAABAAB

Исходя из классификации Герхарда Ньерхауса, данной в книге «Парадигмы автоматической генерации музыки», L-системы можно разделить на несколько групп.

**Контекстно-независимые и чувствительные к контексту.** L-система называется контекстно-независимой (0L-системой), если замещение происходит независимо от окружающих символов. L-система называется чувствительной к контексту, если правила замещения определяются положением символа, который следует заменить (например, заменить A на ABA, если A стоит после B).

L-система называется **стохастической**, если возможны несколько правил для каждого символа-предшественника. Одно из нескольких правил для данного символа строки состояния каждый раз выбирается случайно, с некоторой заданной вероятностью. Само собой, каждому из правил для данного предшественника приписывается вероятность выбора правила — число от нуля до единицы (сумма таких чисел должна равняться единице).

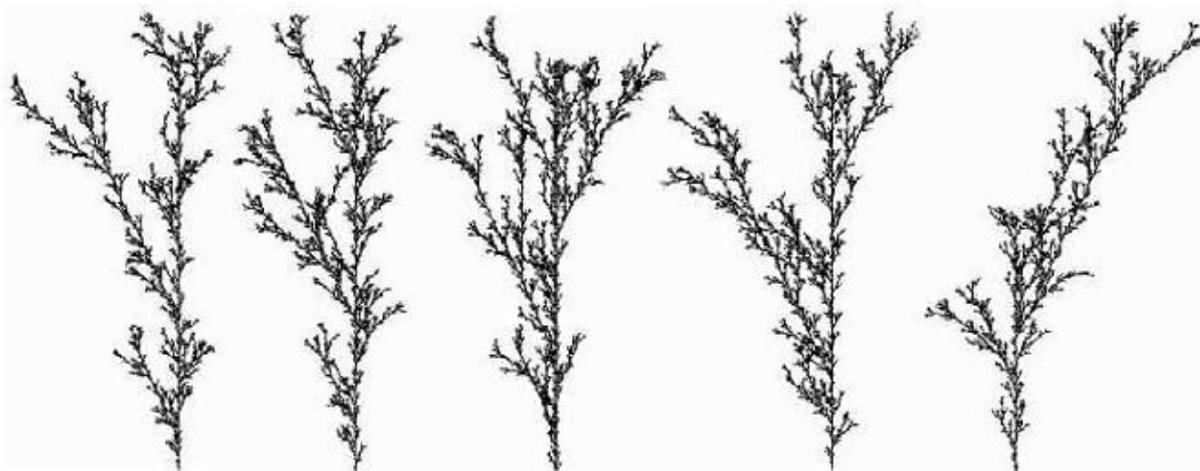


Рис 1 – пример работы стохастической L-системы – моделирование роста ветви дерева

**Параметрической** называется Л-система, в которой начальный набор символов может меняться – например, добавляться новые символы в зависимости от определенных условий.

Использование Л-систем для генерации алгоритмических композиций подразумевает использование вместо символов определенных музыкальных параметров. Например профессор Португальского университета Педро Пестана назначает алфавит из семи символов – нот, входящих в гамму до мажор, а правила замещения определяет исходя из матрицы переходных вероятностей.

Другим воплощением Л-систем в алгоритмической композиции является программа LMUSE Дэвида Шарпа, в которой различные музыкальные параметры, такие, как высота, продолжительность, и громкость могут быть назначены различным компонентам положения, толщины линии и т.д.

Таким образом, Л-системы можно считать экспертной системой, основанной на правилах, и подходящей для решения определенных задач в сфере алгоритмической композиции.