

УДК 519.688

**ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ****Степанов Кирилл Александрович**

аспирант

Томский государственный университет, Томск

*author@apriori-journal.ru*

**Аннотация.** В статье рассмотрены теоретические и материально-технические предпосылки возникновения генетических алгоритмов, выявлены фазы в их генезисе и авторы исходной формы.

**Ключевые слова:** предпосылки появления генетических алгоритмов; фазы возникновения генетических алгоритмов; задачи оптимизации; классический генетический алгоритм.

---

**THE HISTORY OF THE EMERGENCE OF GENETIC ALGORITHMS****Stepanov Kirill Alexandrovich**

post-graduate student

National Research Tomsk State University, Tomsk

**Abstract.** In the article the theoretical, material and technical prerequisites of genetic algorithms are described, phases in the genesis of genetic algorithms and the authors of the original form are specified.

**Key words:** prerequisites of the emergence of genetic algorithms; phases of the emergence of genetic algorithms; optimization task; the canonical genetic algorithm.

Актуальность обращения к теме истории генетических алгоритмов (ГА) определяется имеющимся противоречием между широким распространением ГА и отсутствием работ о них сравнительно-исторического характера. На сегодняшний день генетические алгоритмы доказали свою конкурентоспособность при решении многих NP-трудных задач и находятся на стадии стремительного роста, о чем свидетельствует растущее число публикаций и конференций, а также появление специализированного журнала «The Genetic Algorithm Digest». В результате начала формироваться общая тематика и согласие по важнейшим вопросам. На этом этапе развития ГА попытка анализа их истории представляется актуальной и интересной.

Возникновение генетических алгоритмов датируется 60-ми годами XX века. Это время характеризуется специфическим социальным, экономическим, интеллектуальным и технологическим контекстом. В этом контексте можно выделить теоретические и материально-технические предпосылки возникновения генетических алгоритмов.

Теоретический контекст возникновения генетических алгоритмов, прежде всего, задан развитием теории эволюции. Идеи изменчивости окружающего мира встречаются еще в воззрениях античных философов Гераклита, Эмпедокла, Демокрита и Лукреция. Зачатки теории эволюции в простейшей форме возникли в трудах трансформистов Р. Гука, Э. Дарвина, Д. Дидро, Ж.Л. Бюффона, Э.Ж. Сент-Илера, К.Ф. Рулье, Ж.Б. Ламарка об изменениях и превращениях органических форм и происхождении одних организмов от других. Широкую популярность теория эволюции получила после выхода в 1859 году книги Ч. Дарвина «Происхождение видов» [1]. В ней была предложена теория естественного отбора, основанная на принципе «выживания сильнейшего». Важнейшими компонентами теории являются следующие: эволюция происходит через естественный отбор, адаптацию, способность к которой передается следующим поколениям, выживание наиболее приспособленных. Адаптив-

ные характеристики при смене поколений распространяются на весь вид, а неадаптивные по большей части исчезают. В результате этого прямого приспособления некоторые виды в процессе эволюции трансформировались в совершенно новые, а исходные виды вымерли. Благодаря дарвинизму биология становится лидером эволюционного естествознания. Эволюционный взгляд на мир стал общекультурной традицией. Идеи наследственности, изменчивости и отбора наилучших характеристик является первой теоретической предпосылкой возникновения генетических алгоритмов.

Вторая теоретическая предпосылка появилась в рамках модели дезоксирибонуклеиновой кислоты. Механизм эволюции стал более понятен после публикаций в 1944 году результатов исследований О. Эйвери, К. Маклеода и М. Маккарти, доказывавших, что за наследственные процессы ответственна кислота дезоксирибозного типа [2]. В 1953 году в журнале «Nature» вышла статья М. Уотсона и Ф. Крика [3], которые впервые предложили модель двухцепочной спирали ДНК, раскрывающую механизм наследственных процессов. Эта модель оказала значительное влияние на математический аппарат классического генетического алгоритма. Вначале генетические алгоритмы строились по принципу подобия ДНК.

Третья теоретическая предпосылка возникновения генетических алгоритмов обнаруживается в синтетической теории эволюции, разработка которой началась с публикации в 1926 году в «Журнале экспериментальной биологии» большой статьи русского генетика С.С. Четверикова «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики» [4]. В ней было показано, что отбору подвергаются не отдельные признаки или особи, а генотип популяции, т.е. совокупности особей одного вида, длительно обитающих на одной территории. При этом отбор осуществляется через фенотип отдельных особей. Это приводит к распространению полезных мутаций во всей популяции. Полез-

ность изменения определяется естественным отбором группы особей, наиболее приспособленных к жизни в определенных условиях.

Синтетическая теория эволюции строится на следующих основных положениях:

1. Эволюция идет на уровне популяций, а не особи (ламаркизм) или вида (дарвинизм). Путем изменения генотипического состава популяции осуществляется эволюция вида. Это положение принципиально важно при разработке генетических алгоритмов, особенно многокритериальных, где необходимо получить несколько оптимальных особей.
2. Эволюция идет при помощи случайно образующихся мутаций: генных, хромосомных, геномных, изменения внеядерных ДНК и других. Мутировавший ген создает у особи новый признак, который в случае полезности для популяции закрепляется. Использование мутаций при реализации генетического алгоритма делает конечное множество решений практически бесконечным, следовательно, повышает его эффективность.

В работе Р. Фишера «Генетическая теория природной селекции» ([5], 1930) утверждалось, что плеiotропия (каждый ген участвует в определении нескольких признаков) и полимерия (каждый признак зависит от многих генов) отражают взаимодействие генов, благодаря которому внешнее проявление каждого гена зависит от его генетического окружения. Поэтому рекомбинация, порождая новые генные сочетания, в итоге создает для данной мутации генное окружение, позволяющее ей проявиться в фенотипе, после чего мутация попадает под действие естественного отбора. Отбор в природных популяциях чаще всего действует на комплексы генов, а не на отдельные гены. В генетических алгоритмах отбор оптимальных решений строится по такому же принципу.

Мировоззренческой предпосылкой возникновения генетических алгоритмов является глобальный эволюционизм, ставший характерной

чертой естествознания. Глобальный эволюционизм связан с двумя аксиомами: 1) утверждение становления, новообразования, изменчивости; 2) утверждение системности, целостности, взаимообусловленности. На его основе возникает образ мира как саморазвивающейся суперсистемы, любой объект предстает как составляющая целостности: и как событие и как система одновременно. Любой объект рассматривается в системном качестве, а состояние не противопоставляется процессу, состояние как равновесие приобретает динамичность. Процессуальность становится универсальной характеристикой. Среда потенциально содержит в себе поле неоднозначных путей развития. Так всякая эволюция оказывается коэволюцией системы и ее среды.

Эволюция Вселенной представляет собой постепенное нарастание сложности материальных структур, их саморазвитие и самоорганизацию. «Спутником» глобального эволюционизма является индетерминизм – идея, согласно которой мир не является полностью предсказуемым, ясным и определенным; в нем немалую роль играет случайность, в его развитии есть точки бифуркации, есть альтернативность и неоднозначность путей. В генетических алгоритмах процесс и результат являются мало предсказуемыми, всегда присутствует элемент случайности, что полностью согласуется с идеей индетерминизма.

Эволюционные идеи проникли во все естественные науки в XIX – первой половине XX века. В каждой отрасли естествознания они имели специфические формы реализации. Математика не могла оставаться вне интеллектуального контекста, учитывающего, что все развивается.

Таким образом, в 70-х годах XX века стали известны все необходимые компоненты для практической реализации эволюционной модели, используемой в генетических алгоритмах: наследственность (потомки сохраняют свойства родителей); изменчивость (потомки почти всегда не идентичны); мутации; естественный отбор (выживают наиболее приспособленные); эволюция идет на уровне популяции.

Помимо распространения идей эволюции, возникновению генетических алгоритмов способствовало появление вычислительной техники, способной численно моделировать процесс эволюции. Это можно считать материально-технической предпосылкой появления генетических алгоритмов. Одна из первых ЭВМ на электронных лампах ЭНИАК (электронный численный интегратор и калькулятор) была создана в 1946 году и обслуживалась целой инженерно-технической группой. Команды по программе вводились вручную и каждая новая программа требовала новой комбинации сигнала, следовательно, эта ЭВМ не подходила для реализации генетического алгоритма. Первая ЭВМ с хранимой программой EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator – электронный автоматический калькулятор с задержкой хранения) была создана в Кембриджском университете в 1949 году. Второе поколение ЭВМ – машины на транзисторах – появились около 1960 года. Эти машины были более надежными, объем их памяти увеличился, а быстродействие возросло в 10 раз. Для практической реализации генетических алгоритмов требовалось иное быстродействие и производительность, которые стали возможны при появлении ЭВМ на интегральных схемах. Быстродействие ЭВМ третьего поколения возросло в 100 раз, а габариты существенно снизились. Большинство ЭВМ первого и второго поколения были специализированными машинами, на которых можно было решать задачи одного типа. ЭВМ третьего поколения выпускались как специализированными, так и универсальными. Значительно выросла вычислительная мощность настольных компьютеров в 70-х годах XX века, что позволило использовать новую вычислительную технику для реализации генетических алгоритмов.

В истории возникновения генетических алгоритмом можно выделить 2 фазы: 1) фаза разработки элементов генетических алгоритмов (конец 50-х – начало 70-х годов XX века); 2) фаза создания исходной формы генетических алгоритмов (70-е годы XX века).

Первые публикации, относящиеся к разработке элементов генетических алгоритмов, принадлежат Н.А. Баричелли. Его работы «Симбиогенез эволюционных процессов искусственными методами» («Symbiogenetic evolution processes realized by artificial methods», 1957), «Численная проверка эволюционных теорий» («Numerical testing of evolution theories», 1962) были направлены на понимание природного феномена наследственности. Австралийский генетик А. Фразер опубликовал серию работ по симуляции искусственного отбора среди организмов с множественным контролем измеримых характеристик [6]. Симуляции Фразера включали все важнейшие элементы современных генетических алгоритмов. Он моделировал эволюцию 15-битных строк и подсчитывал процентное содержание особей с удачным фенотипом в успешных поколениях. Его работы напоминают оптимизацию функций и имеют много общего с современным генетическим алгоритмом, однако в работах Фразера нет ни одного упоминания о возможности использовать ГА для искусственных задач. Г.-И. Бремерманн в 1960-х годах опубликовал серию работ, которые применяли подход использования популяции решений, подвергаемой рекомбинации, мутации и отбору, в проблемах оптимизации. Исследования Бремерманна включали элементы современных генетических алгоритмов. Среди прочих пионеров следует отметить Р. Фридберга, Дж. Фридмана и М. Конрада [7]. Хотя Баричелли в своей работе 1963 года симулировал способности машины играть в простую игру [8], искусственная эволюция стала общепризнанным методом оптимизации после работ И. Рехенберга и Х.-П. Швэфеля в 1960-х и начале 1970-х годов XX века. Группа Рехенсберга смогла решить сложные инженерные проблемы согласно стратегиям эволюции. Другим подходом была техника эволюционного программирования Л.Дж. Фогеля, которая была предложена для создания искусственного интеллекта. Популярность генетических алгоритмов началась с работ Р. Холстиена и Де Джонга, в которых на ряде

примеров были впервые продемонстрированы возможности ГА для решения задач многопараметрической оптимизации.

Генетический алгоритм, который теперь принято называть классическим, был впервые подробно описан и исследован в работе де Джонга. Он проанализировал простую схему кодирования генов битовыми строками фиксированной длины и соответствующих генетических операторов, выполнил значительное количество численных экспериментов, сравнивая результаты с оценками, предсказываемыми теоремой Холланда. В этой работе подчеркивалась необходимость проведения дальнейших исследований более сложных схем представления генотипа и операций над ним. Последующие работы де Джонга продемонстрировали его интерес к проблемам, которые требовали менее структурированных схем представления гена.

Родителем современной теории генетических алгоритмов считается Д.Х. Холланд. Заслуга Холланда в том, что он осознал значение эволюционных принципов в адаптации и развил свои предположения. Вместе со своими студентами, слушавшими курсы по адаптивным системам в Университете штата Мичиган, он разрабатывает то, что впоследствии назовет «генетическим алгоритмом». Один из студентов Холланда, Кеннет Де Йонг (Kenneth De Jong), защищал в 1975 году диссертацию «Анализ поведения в классе генетических адаптивных систем». В том же году выходит знаменитая книга Холланда «Адаптация в природных и искусственных системах». Именно в ней он впервые ввёл термин «генетический алгоритм» и предложил схему классического генетического алгоритма.

Холланд был уверен в возможности составить и реализовать в виде компьютерной программы алгоритм, который будет решать сложные задачи так, как это делает природа – путем эволюции. Поэтому он начал трудиться над алгоритмами, оперирующими последовательностями двоичных цифр (единиц и нулей), получившими название хромосом. Эти алгоритмы имитировали эволюционные процессы в поколениях таких хромо-



сом. В них были реализованы механизмы селекции и репродукции, аналогичные применяемым при естественной эволюции. Так же, как и в природе, генетические алгоритмы осуществляли поиск «хороших» хромосом без использования какой-либо информации о характере решаемой задачи.

Большую популярность получила изданная в 1989 г. книга ученика Холланда Д. Гольдберга «Генетические алгоритмы в задачах поиска, оптимизации и машинного обучения», содержащая большое количество примеров и возможных постановок задач, решаемых с помощью ГА: проектирование сети трубопроводов, сверхбольших интегральных схем, структурная оптимизация, планирование производственных процессов, обработка изображений в медицине, моделирование процессов принятия решений в экономических и социальных системах. После этого ГА начинают привлекать к себе все больше внимания, ими занимается все больше исследователей, которые находят им новые сферы применения. В 1992 году, по данным библиографии Я. Аландера, число публикаций перевалило за 500, в то время как в 1982 году их было всего 15.

Исходный вид генетических алгоритмов просуществовал в практически неизменном виде до 90-х годов XX века. В дальнейшем понятие «генетические алгоритмы» стало очень широким, и зачастую к ним относятся алгоритмы, сильно отличающиеся от классического ГА.

## Список использованных источников

1. Дарвин Ч. Происхождение видов путём естественного отбора или сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь. СПб.: Наука, 1991.
2. Avery Oswald T., Colin M. MacLeod, Maclyn McCarty (1944-02-01). Studies on the Chemical Nature of the Substance Inducing Transformation of Pneumococcal Types: Induction of Transformation by a Desoxyribonucleic Acid Fraction Isolated from Pneumococcus Type III // J. of Experimental Medicine. 79 (2). P. 137-158.
3. Watson J, Crick F. Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid // Nature. 1953. 171 (4356). P. 737-8.
4. Четвериков С.С. О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики // Классики советской генетики. Л., 1968.
5. Fisher R.A. The genetical theory of natural selection. N.Y., 1958.
6. Fraser Alex. Simulation of genetic systems by automatic digital computers. I. Introduction // Aust. J. Biol. Sci. 1957. 10. P. 484-491.
7. Fogel David B. (editor) Evolutionary Computation: The Fossil Record. N.Y.: IEEE Press, 1998.
8. Barricelli Nils Aall. Numerical testing of evolution theories. Part II. Preliminary tests of performance, symbiogenesis and terrestrial life // ActaBi-theoretica. 1963. (16). P. 99-126.