

## АЛГОРИТМЫ БИОМЕТЕТИКИ

**Сергей Иванович Родзин**, канд. техн. наук, проф. ЮФУ

Тел.: 8(634) 362 055, e-mail: srodzin@yandex.ru

**Ольга Николаевна Родзина**, ст. преподаватель ЮФУ

Тел.: 8(634) 362-055, e-mail: orodzina@yandex.ru

Южный федеральный университет

<http://www.sfedu.ru>

*В статье исследуется метрика и метрические свойства мемов: распространение, живучесть, энтропия, влияние. Предлагается алгоритм биомететики, основными компонентами которого являются локальный поиск, кооперация, соревнование, критерий окончания поиска. Алгоритм биомететики иллюстрируется на примере задачи составления расписания, приводятся результаты экспериментов и оценка качества найденных решений.*

*Ключевые слова: эволюционные вычисления, биомететика, задача расписания.*

Исследование осуществлено при поддержке гранта РФФИ № 13-07-00204-а.

### 1. Введение

Многие достижения в технике почерпнуты из природы. В [1] Р. Докинз, убежденный дарвинист, изложил геноцентрический взгляд на эволюцию - стремление генов к «эгоистичной» репликации определяет развитие популяций, сходящихся к эволюционно стабильным стратегиям, а любой самый сложный эволюционный процесс особей и видов может рассматриваться как совокупность эволюции их генов. Естественный отбор на уровне отдельных организмов и групп почти никогда не одерживает верх над отбором на уровне генов. Р. Докинз назвал единицу культурного обмена, т.е. аналог гена в культуре, мемом, обратив внимание на схожесть эволюции генов и эволюции человеческой культуры.



**С.И. Родзин**

Мемом может быть жест, слово или идея. Любая единица культурной информации, которая может быть передана от человека к человеку путём имитации или обучения - это мем. Мемы передаются между поколениями, мутируют и проходят отбор. Как и гены, мемы стремятся к саморепликации. В биомететике концепции из эволюционной теории (в особенности популяционной генетики) переносятся на человеческую культуру. Со временем самые приспособленные единицы культуры широко распространяются, а плохо приспособленные - исчезают. Чтобы успешно воспроизводиться, мемы должны стремиться к максимальной точности своей передачи, широкому распространению и как можно более долгому по времени воспроизводству. Мемы, которые наилучшим образом решают эти задачи, являются победителями в процессе эволюции культуры. Мемы, подобно генам, рассматриваются в качестве репликаторов как информация, копируемая вариационно и селективно. Иными словами, мемы копируются путём имитации, обучения и борются за выживание в нашей памяти и за шанс быть вновь реплицированными.



**О.Н. Родзина**

Целью статьи является исследование метрики и метрических свойств мемов, разработка алгоритма биомететики и его применение для решения NP-сложной задачи составления расписания.

### 2. Метрические свойства мемов

Каким образом можно измерить мем как единицу культурной эволюции? Метрика - это мера, позволяющая получить численное значение некоторых свойств объекта.

Метрика мема определяется следующими свойствами: распространение, живучесть, энтропия и степень влияния [2].

Энтропия мема указывает на количество информации, приходящейся на одно элементарное сообщение источника. Энтропия измеряется по Шеннону. Например, количество информации, необходимое чтобы выбрать одно слово из словаря объемом 200 слов составляет 7,6 бит ( $\log_2 200 = 7,6$  бит). Для мема из 50 слов потребуется 380 бит. Если объем словаря составляет 20000 слов, то для мема из 50-слов потребуется 714 бит.

Тип реципиентов (субъект, воспринимающий адресованное ему сообщение) можно охарактеризовать или классифицировать по экономическим, социальным или образовательным классам, по этнокультурной принадлежности, религии, полу, возрасту или роду занятий и т.д. Метрическим свойством будет дисперсия реципиентов.

Живучесть мемов определяется продолжительностью их передачи и временем запоминания (хранения). Будем различать следующие подметрики для энтропии мемов: малая (меньше или равна 100 Кбит), средняя (меньше или равна 100 Мбит) и большая (больше 100 Мбит).

Метрическое свойство «влияние» характеризуется индивидуальными последствиями и потенциальным воздействием мема на общество.

Наличие метрики позволяет произвести оценку относительной важности каждого метрического свойства (экспертно определить «вес» или приоритет), например, с помощью метода анализа иерархий [3] и использовать полученные оценки для сравнения с альтернативными мемами. Наличие метрики упрощает процесс принятия решений, позволяет ранжировать альтернативные мемы. Наибольший «вес» для метрического свойства «распространение» мема имеет составляющая «количество реципиентов». Это показатель легко поддается измерению и является весьма полезным показателем успешности распространения мема. Наибольший «вес» для метрического свойства «живучесть» мема имеет составляющая «время передачи». Для метрического свойства «влияние» мема наибольшим «весом» обладает составляющая «социальные последствия» – изменение в общественном поведении считаются более важными, чем влияние отдельного индивидуума, даже если этот человек оказал заметное влияние на историю. Наконец, для метрического свойства «энтропия» наиболее важным является показатель «малая» энтропия (мы более чутко реагируем на короткие мемы).

### 3. Алгоритм биомеметики

Основными компонентами алгоритма биомеметики являются:

- локальный поиск на основе алгоритмов, использующих информацию о структуре области поиска. Для осуществления локального поиска в [4] предлагалось использовать алгоритм имитации отжига. На наш взгляд, перспективным является применение менее сложных в вычислительном отношении процедур, таких как алгоритм наискорейшего спуска/подъёма;
- кооперация для организации обмена информацией между особями, аналогичная применению оператора двухточечного кроссинговера в генетических алгоритмах [5] - выбирается некоторый диапазон в пределах длины решения, и соответствующие сегменты двух решений меняются местами. В результате получают две новые особи, к которым впоследствии применяется процедура локальной оптимизации;
- соревнование путем отбора наиболее приспособленных особей из популяции и исключения из неё менее приспособленных (процедура аналогична селекции в генетических алгоритмах);
- критерий окончания поиска, который наряду с подсчётом числа итераций и оценкой улучшения результата может включать оценку разнообразия особей (в случае вырождения популяции бессмысленно продолжать поиск).

Наша гипотеза заключается в том, что адаптация и эволюция среди особей популяции происходит быстрее с использованием меметических связей. Основное отличие предлагаемого биомеметического алгоритма состоит в том, что наряду с биологической эволюцией происходит культурная эволюция на двух уровнях: на уровне популяции и на уровне отдельного человека, т.е. происходит двойное наследование. Люди накапли-

вают информацию о мире (базу знаний), которая передается другим поколениям, адаптируясь по мере изменения ситуации. Речь идет о различных видах культурных знаний: нормативных, ситуативных, исторических и др. Известные гибридные эволюционные алгоритмы не поддерживают механизмы двойного наследования.

На популяционном уровне предлагаемый биомеметический алгоритм работает аналогично эволюционным алгоритмам. Решениями являются отдельные индивидуумы, входящие в популяцию с различными характеристиками, которые могут оцениваться некоторой функцией пригодности. На втором уровне обрабатываются знания, полученные несколькими поколениями и доступные текущему поколению. Между двумя уровнями алгоритма существует специальный коммуникационный протокол для обмена информацией.

Входной информацией для алгоритма является популяция индивидов и размерность задачи, выходной – база знаний, включающая ситуативные и нормативные знания. Ситуативные знания представляют собой описания ситуаций и решений, которые признаны в этих ситуациях наиболее разумными. Нормативная часть базы знаний включает общие нормы (законы, правила, заповеди, традиции), регламентирующие человеческое поведение.

Синтаксическая модель алгоритма меметики включает следующие элементы:

$$MA = \{P_0, t, \mu, \delta_0, \lambda, N, F, \varphi, L\},$$

где  $P_0 = (P_0^1, P_0^2, \dots, P_0^{\mu})$  – исходная популяция мемов из конечномерного дискретного пространства;  $t$  – шаг эволюции ( $t = 0, 1, \dots, t_{max}$ ];  $\mu$  – размер популяции мемов;  $\delta_0$  – начальный набор параметров для операторов эволюции;  $\lambda$  – размер множества мемов-потомков, сгенерированных на очередном шаге эволюции;  $N$  – размерность задачи;  $F$  – функция пригодности;  $\varphi$  – отображение, описывающее связь между мемами и кодируемыми объектами, управление и манипулирование которыми осуществляет алгоритм меметики;  $L = \{L_1, L_2, \dots, L_m\}$  – операторы генерации мемов, используемые алгоритмом в процессе эволюции.

В рамках данной синтаксической модели можно описать все разнообразие алгоритмов биомеметики при использовании различных сочетаний эволюционных операторов.

#### 4. Результаты экспериментов

Проиллюстрируем работу биомеметического алгоритма на примере задачи составления расписания [6].

Проблема составления разнообразных расписаний хорошо известна в исследовании операций, искусственном интеллекте. В общем случае она формулируется так: задано некоторое множество требований с определённым набором характеристик по их выполнению (длительность обработки требования, стоимость обработки требования, момент поступления требования, директивный срок окончания обслуживания требования и т.п.). Задано некоторое множество объектов (машин, приборов, аудиторий и т.п.), на которых требования должны обслуживаться в соответствии с некоторым порядком. Ставится задача дискретной оптимизации: построить расписание, минимизирующее время выполнения работ, стоимость работ и т.п. Например, составление расписания экзаменационной сессии в вузе всегда было трудной проблемой – необходимо выполнить «жесткие» ограничения и минимизировать отклонения для «мягких» ограничений.

«Жесткие» ограничения должны быть полностью удовлетворены и не могут нарушаться. Примерами такого рода ограничений являются следующие:

- студент не может сдавать два экзамена одновременно;
- экзамены для студентов разных групп должны быть запланированы в разные периоды времени;
- количество студентов, сдающих запланированный экзамен, не должно превышать вместимость аудитории.

Кроме того, часто встречаются жесткие ограничения, связанные с упорядочением экзаменов.

«Мягкие» ограничения регламентированы действующими санитарными нормами или общепринятой практикой (например, желательностью более равномерного расположения экзаменов в сессионном графике и пр.). Зачастую все «мягкие» ограничения удовлетворить невозможно. Однако их выполнение положительно влияет на качество расписания. Соблюдение или не соблюдение «мягких» ограничений является критерием построения качественного расписания. Чем в большем объеме будут соблюдены «мягкие» ограничения, тем более качественным, методически проработанным и комфортным будет расписание. Однако несоблюдение «мягких» требований не лишает практической возможности использования расписания. Хотя большинство разработчиков расписаний даже не догадываются о ходе недельных кривых умственной работоспособности обучающихся.

Для решения задачи составления расписания экзаменационной сессии был применен представленный выше алгоритм биомеметики. Полученные в ходе эволюции решения улучшались в течение одного поколения за счет использования алгоритма локального меметического поиска. Алгоритм был запрограммирован в Matlab, выполнен на компьютере Intel Pentium 4 (2,33 ГГц) и проверен на реальных наборах тестовых данных. Результаты экспериментов показали, что качество найденных решений лучше, по сравнению с известными генетическими алгоритмами.

### Заключение

Авторы считают, что в данной работе новыми являются следующие результаты: предложена метрика и определены метрические свойства мемов: распространение, живучесть, энтропия и влияние; а также разработан оригинальный алгоритм биомеметики, сочетающий такие компоненты, как локальный поиск, кооперация и соревнование. Проведенные эксперименты для ряда NP-сложных задач оптимизации показали, что с помощью разработанного подхода эти задачи решаются быстро, надежно и точно. Алгоритмам биомеметики присущ параллелизм. Они проще генетических и роевых алгоритмов. Биомеметика - активно развивающаяся область эволюционных вычислений и методов оптимизации в целом. На данный момент наиболее перспективным следует считать создание адаптивных версий алгоритма, учитывающих предысторию поиска, а также проблемно-ориентированную информацию об области поиска.

### Литература

1. Докинз Р. Эгоистичный ген. – М.: Мир, 1993. [Электронный ресурс]. URL: [http://modernlib.ru/books/dokinz\\_richard/](http://modernlib.ru/books/dokinz_richard/).
2. Родзин С.И. Метрика и алгоритмы меметики // Вестник РГУПС. 2013. № 4 (52). С. 59-67.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
4. Moscato P. Memetic algorithms. Handbook of Applied Optimization. – Oxford: University Press, 2002.
5. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И. Теория эволюционных вычислений. – М.: Физматлит, 2012.
6. Бартнев А.С. Обзор основных вопросов автоматизированного составления расписания занятий в вузе // Современные научные исследования и инновации. 2011. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2011/09/2576> (дата обращения: 20.02.2014).

### Biomemetic algorithms

*Sergey Ivanovich Rodzin, Professor, Candidate of Technical Sciences*

*Olga Nikolaevna Rodzina, Senior lecturer*

*Southern Federal University*

*The paper investigates the metrics and metric properties of memes: distribution, survivability, entropy influence. Biomemetic algorithm is proposed. Its main components are local search, cooperation, competition, end criterion search. Biomemetic algorithm is illustrated by the example of scheduling, the results of experiments and evaluation of the quality of the solutions found.*

*Keywords: evolutionary computation, biomemetics, schedule task.*