

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

К.И. Глазачев, А.Н. Коварцев

*Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева
E-mail: kovr_ssau@mail.ru*

Введение

Одним из наиболее часто встречающихся на практике типов задач являются задачи оптимизации: глобальной, условной и безусловной. Обычно решение таких задач требует большого объема вычислений, и получение решения занимает существенное время, таким образом, становится актуальной разработка параллельных алгоритмов оптимизации. Один из вариантов решения – распараллеливание уже существующих алгоритмов, что в общем случае является нетривиальной задачей. Кроме того, применение многих из этих алгоритмов затруднено в связи с налагаемыми ограничениями на оптимизируемую функцию (гладкость, непрерывность и т.д.), которые далеко не всегда выполняются при решении реальных задач, или в связи со сложностью самой функции, при нахождении глобального экстремума функций больших размерностей. На данный момент одним из наиболее исследуемых и развивающихся направлений в этой области являются генетические алгоритмы (ГА).

Преимуществами ГА считаются: отсутствие ограничений на оптимизируемую функцию, способность эффективно решать задачи больших размерностей и задачи оптимизации многоэкстремальных функций, простота и прозрачность реализации, применимость к широкому спектру задач. Кроме того, структура ГА легко поддается распараллеливанию. К недостаткам ГА можно отнести: длительное время работы, возможная вырождаемость решений, невысокая точность.

Существует несколько проблем, затрудняющих применение ГА для практических задач, которые затрудняют сравнительный анализ с другими алгоритмами оптимизации. Во-первых, отсутствует единообразие в описаниях генетических алгоритмов. Обычно приводятся лишь общие рекомендации, допускающие вольные интерпретации в процессе программирования. Во-вторых, для генетических алгоритмов приходится настраивать большое количество параметров. В тоже время, эффективность ГА очень чувствительна к настройке параметров. Причем, не существует таких настроек, которые бы были бы в одинаковой мере хорошими для всех задач. Поэтому выбрать вектор параметров для конкретной задачи достаточно сложно.

Стоит отметить, что ГА не только не несут под собой серьезной математической основы, но и логически объясняются в основном предположением о том, что эволюция может быть применена не только для развития («оптимизации») живых организмов, но и для нахождения оптимальных решений в других областях.

Таким образом, является актуальным исследование реальной эффективности ГА.

Основные понятия

В основе генетических алгоритмов лежит теория эволюции Чарльза Дарвина, основными механизмами которой являются селекция (естественный отбор), скрещивание и мутация. Отбор организован таким образом, что потомки в результате скрещивания

родителей получают некоторые качества от каждого из родителей, а вследствие мутаций могут приобретать ранее не существовавшие свойства. Естественный отбор обеспечивает выживание наиболее приспособленных особей среди популяции организмов. Таким образом, постепенно все особи в популяции становятся лучше.

Ключевым понятием в концепции ГА является ген – это единица закодированной информации о свойствах особи. Некоторая последовательность генов называется хромосомой. Вся совокупность генов называется генотипом, а все совокупность свойств, определяемых генами, – фенотипом.

Определим генетический алгоритм как эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации путем случайного подбора, комбинирования и вариации искомым параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию [1].

Рассмотрим постановку задачи глобальной оптимизации [2].

Необходимо найти:

$$\bar{x}_{\min} = \arg \min_{\bar{x} \in X} f(\bar{x}).$$

Здесь X – множество всех возможных решений; $f(\bar{x})$ – функция, определенная на множестве X , возвращающая действительное число из интервала $(-\infty; \infty)$; $\bar{x} \in X$ имеет вид: $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$, $x_i \in [0, 1]$.

В контексте ГА описанные выше обозначения имеют следующую трактовку:

Точка $\bar{x}_i = (x_1, \dots, x_n)^T$ – особь; множество точек $\{\bar{x}_i\}_{i=1}^N$ – популяция; $f(\bar{x}_i)$ – количественная характеристика приспособленности особи, называемая фитнес-функцией; числа $x_1, \dots, x_n$ в своем десятичном представлении определяют фенотип особи, а в двоичном – генотип. Строка, полученная конкатенацией двоичных представлений чисел $x_1, \dots, x_n$, – хромосома; каждая цифра (бит) в хромосоме – ген.

Механизмы, используемые в ГА, можно условно разделить на две части – принцип селекции и генетические операции. В ГА под селекцией понимается выборка особей из популяции на основе значений их фитнес-функций. Именно селекция обеспечивает сходимость ГА. Селекция в ГА применяется при отборе особей для генетических операций и при отборе получившихся от этих операций потомков. Как правило, реализация селекции состоит в том, что чем лучше показатель фитнес-функции особи, тем выше ее шансы породить потомков, и из потомков выживает также тот, у которого лучше показатель фитнес-функции. В результате из популяции постепенно отсеиваются худшие решения.

Генетические операции:

1. *Скращивание*. Является основной операцией. Это оператор случайного формирования новой особи из двух выбранных родителей с сохранением признаков обоих родителей.
2. *Мутация*. Применяется к одной особи и заключается в том, что в хромосоме выбранной особи один или несколько бит, случайно выбранных, либо заранее заданных, меняются на противоположные значения.
3. *Инверсия*. Также применяется к одной особи. В результате этой операции часть бит «срезается» с конца хромосомы и «пришивается» к началу.

Схема стандартного генетического алгоритма

На рис. 1 представлена общая схема стандартного генетического алгоритма.

Первая популяция инициализируется случайными числами из интервала $[0, 1]$. После чего рассчитывается фитнес-функция каждой особи и ее пригодность.

Под условием выхода может подразумеваться, например, достижение определенной точности вычислений, или превышение определенного количества итераций (поколений).

Скращивание, мутация и инверсия выполняются с некоторыми вероятностями. Если все значения вероятностей меньше единицы, то на получение потомка может понадобиться больше одной итерации. С другой стороны, потомок может получиться путем комбинированного применения этих операций.

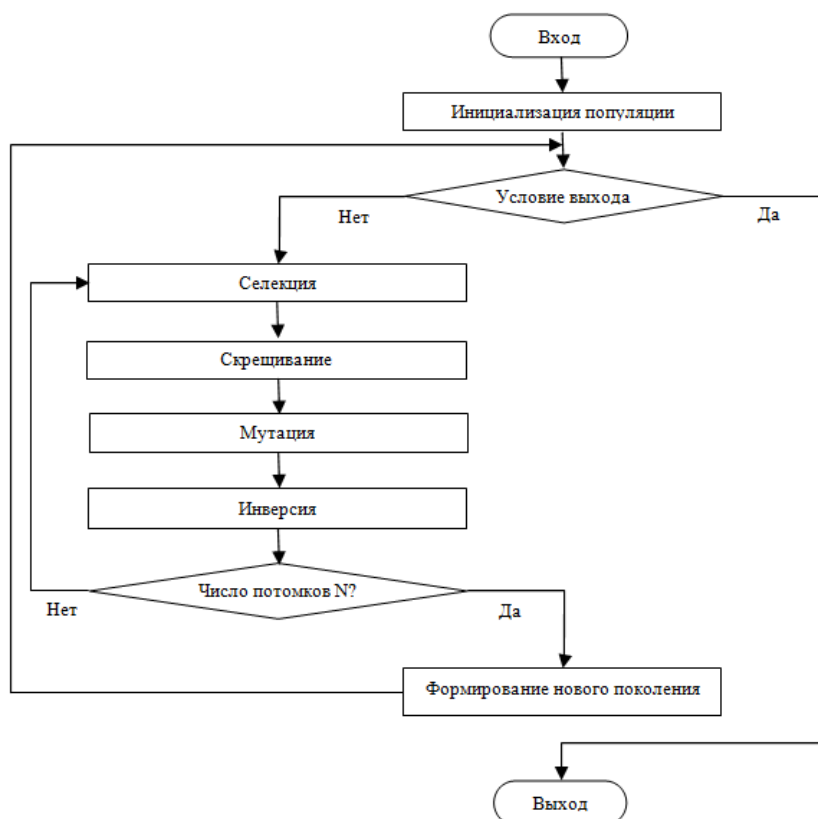


Рис. 1. Схема стандартного генетического алгоритма

Формирования нового поколения может осуществляться двумя способами: новое поколение состоит только из потомков, либо состоит из потомков и лучшей особи из всех поколений (принцип элитизма (от слова элита)). На этапе формирования нового поколения также происходит расчет фитнес-функций и пригодности новых особей (потомков).

Схема параллельного генетического алгоритма

Ввиду того, что генерация каждой особи следующего поколения происходит независимо от остальных, процесс формирования нового поколения можно распараллелить на любое число процессов от двух и до числа особей в популяции. Таким образом, параллельный генетический алгоритм выглядит так, как представлено на рис. 2.

Формирование нового поколения разбивается на k процессов, работающих параллельно. В результате работы каждый процесс возвращает массив из M особей так, что $Mk = N$, т.е. общее число особей в популяции. По окончании работы всех процессов массивы объединяются в новое поколение.

Исследование эффективности генетических операций и разработка альтернатив

ГА – это, по сути, некоторым образом организованный случайный поиск, что вытекает из частого применения случайных величин в генетических операциях и при реализации селекции.

Для любого случайного поиска в области является важным равномерность покрытия этой области случайными точками, т.е. каждая точка, разыгранная случайным образом, должна с одинаковой вероятностью попадать в любую часть исследуемой области (закон равномерного распределения).

Для генетических операций распределение возможных потомков по области неизвестно. Из реализации самих генетических операций не следует качественность поиска оптимального решения. Это приводит к необходимости их исследования.

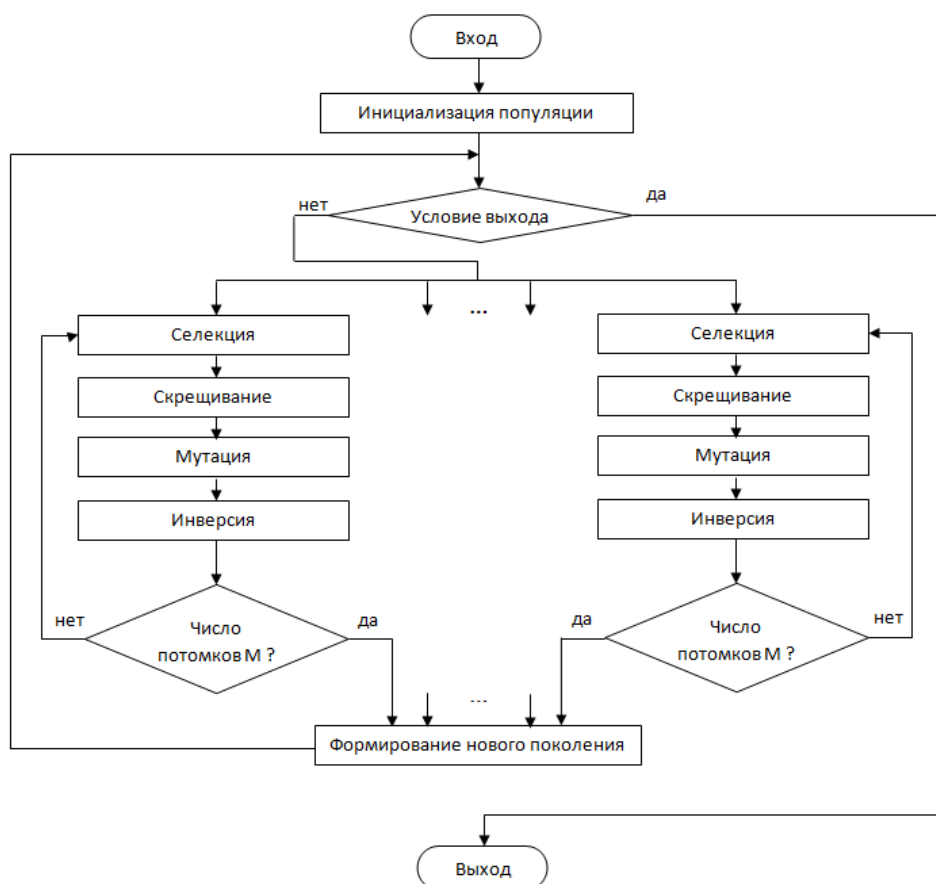


Рис. 2. Схема параллельного генетического алгоритма

Чтобы дать оценку эффективности ГА, каждая операция была рассмотрена отдельно на предмет всевозможных потомков, которых эта операция может дать. Для наглядности рассматривался случай, когда размерность задачи $n = 2$.

В результате исследования выявлена низкая эффективность генетических операций ввиду того, что потомки располагались по координатам родителей, либо, в лучшем случае, в узлах некоторой неравномерной решетки, т.е. операции представляют собой несколько измененный вариант случайного по координатам поиска, который является наименее эффективным. Кроме того, потомки в больших количествах дублировали друг друга.

Рассмотрим варианты замещения генетических операций на более традиционные методы генерации случайных векторов. В качестве альтернативы мутации предлагается реализовать розыгрыш случайной точки в окружности (рис. 3а), либо в кольце (рис. 3б), центром которых является родительская особь. Альтернативой скрещивания является розыгрыш случайной точки в эллипсе рассеяния (рис. 3в), фокусами которого являются родители. Инверсия заменяется на розыгрыш случайной точки в квадрате.

Предложенные операции обладают равномерной областью покрытия и фактически исключают повторение потомков, а поиск лучших решений в окрестности родителей является более логичным, чем покоординатный поиск.

Новый алгоритм получается заменой генетических операций на альтернативные операции, таким образом общая схема генетического алгоритма не затрагивается, а, следовательно, никаких сложностей с распараллеливанием не возникает.

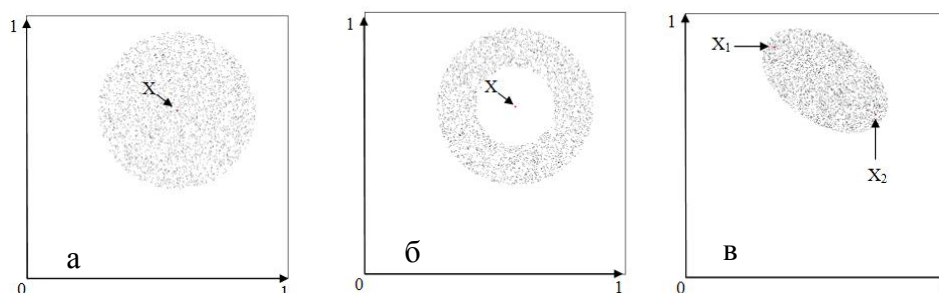


Рис. 3. Альтернативные операции

Заключение

Было проведено исследование, как отдельных генетических операций, так и всего генетического алгоритма в целом. Разработан альтернативный алгоритм и проведен его сравнительный анализ со стандартным генетическим алгоритмом на множестве тестовых задач. По результатам тестов альтернативный алгоритм показал существенно лучшие результаты во всех экспериментах, что дает основания к его широкому применению на практике вместо генетических алгоритмов. В докладе приводится более полное описание механизма генетического алгоритма и детальное описание результатов проведенных тестов.

Литература

1. Genetic algorithm – [http://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm].
2. Жиглявский А.А. Методы поиска глобального экстремума / Жиглявский, А.А., Жилинкас А.Г. – М.: Наука, Физматлит, 1991.
3. Сергиенко А.Б. Генетический алгоритм. Стандарт. Часть I. Описание стандартного генетического алгоритма (сГА) [Internet] / А.Б. Сергиенко, П.В. Галушин, В.В. Бухтояров, Р.Б. Сергиенко, Е.А. Сопов, С.А. Сопов. – [http://www.harrix.org/files/project_standart_ga/Geneticheskii_algoritm_Standart_v_1_5_Release_Candidate.pdf].
4. Прикладная математика – [<http://www.pm298.ru/linp4.php>].