

АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КАПЕЛЬ ВОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМБИНАТОРИКИ

Х.С. ЗАКИЯН, В.А. ЧАСТИКОВА

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,
электронная почта: o013xc@yandex.ru*

Для решения комбинаторных задач предложено достаточно большое количество алгоритмов и методов, как классических, так и эвристических. Последние показывают большую эффективность и лучшую скорость работы. В данной статье рассматривается один из алгоритмов роевого интеллекта - алгоритм интеллектуальных капель воды для решения указанного класса задач, в частности, задачи коммивояжера. Приводится математическая модель алгоритма, обосновывается выбор числовых коэффициентов, полученных эмпирическим путем. Предполагается проведение сравнительного анализа данного алгоритма с другими популярными методами решения задачи.

Ключевые слова: роевой интеллект, алгоритм интеллектуальных капель воды, эвристические алгоритмы, задача коммивояжера, оптимизация.

В природе совокупное течение капель воды образует реки, которые можно представить как огромные массивы боидов (элементов общей структуры); подобные массивы и формируют русло реки, являющее собой путь перемещения каждого отдельного боида. Для такого роя (массива боидов) река, в которую они входят, играет роль изменяющейся во времени и пространстве материи. Она видоизменяется под совокупным усилием всех капель, формирующих реку. Кроме того, это окружение оказывает эффект на внешнюю среду – почву. Таким образом, создаются условные ребра графа, по которому движутся капли в природе. При передвижении роя части среды, имеющие большее количество почвы, т.е. более «твердые», противостоят этому массиву сильнее, чем те участки, где ее количество меньше. Реки в природе – это результат противостояния массива боидов, находящихся внутри реки, и внешней среды – почвы. Каждая капля в отдельности и весь рой в целом движутся по пути наименьшего сопротивления.

Известно, что реки имеют огромное множество изгибов, поворотов и резких смен направления. Это обуславливается неравномерностью распределения почвы на земной поверхности. Кроме того, решающую роль в вопросе движения каждой капли играет земное притяжение. Если взять каждый

отдельный элемент роя, можно выяснить, что неизвестная сила несет его далеко вперед – это и есть земное притяжение. Оно притягивает все предметы к своему центру, задавая им ускорение, увеличивающееся по мере приближения к нему.

Одним из главных факторов следования роя по реке является скорость отдельных его боидов. Она предполагает, что каждый агент (боид) может унести с собой определенное количество почвы от одного участка пути к другому, которая затем передается от более быстрого участка к более медленному. То есть, когда капля взаимодействует с внешней средой, содержание последней в точке становится меньше, что приводит к увеличению количества агентов в заданном промежутке. Таким образом, больший объем унесенной земли (почвы) высвобождается в медленных участках пути, огибаемых последующими элементами роя.

Движение отдельного агента влечет за собой:

- изменение его скорости;
- увеличение количества переносимой им почвы;
- уменьшение количества последней на данном участке пути.

Скорость движения боида играет большую роль. Так, в природе справедливы следующие аксиомы:

- капля, имеющая большую скорость, уносит большее количество почвы;
- скорость капли увеличивается при движении от участка с большим количеством почвы к участку с меньшим количеством почвы.

Причем, обратное так же справедливо – капля воды выбирает направление с меньшим содержанием почвы.

Интеллектуальные капли воды

Выше было рассмотрено поведение реальной капли воды в течении реки, обусловленное количеством почвы в нем. На основании этих данных в 2007 году Иранский ученый Хамед Шах-Хоссейни (HamedShah-Hosseini) предложил алгоритм поведения интеллектуальных капель.

Свойства, описывающие каждый боид:

- запасенная почва, обозначаемая $soil(IWD)$;
- скорость - $velocity(IWD)$,

где IWD – указатель на боид, то есть его порядковый номер.

Интеллектуальные капли перемещаются дискретно, с определенной длиной шага. Зависимость скорости от содержания почвы между двумя вершинами (точками на пути следования боида), нумеруемыми как i и j , соответственно, выражается нелинейной пропорциональностью[1]:

$$\Delta velocity(IWD) \propto^{NL} \frac{1}{soil(i,j)} \quad (1)$$

Здесь нелинейным пропорциональным коэффициентом является α^{NL} . В текущей работе применяется зависимость скорости капли от номера итерации вида:

$$\Delta vel^{IWD}(t) = \frac{a_v}{b_v + c_v * soil^{\alpha}(i,j)} \quad (2)$$

a , b , c и α – вещественные положительные параметры, полученные путем исследования всех возможных вариантов их отношений.

Нелинейная пропорциональность представляется и при выражении количества почвы, запасенной боидом за время его движения от одной точки среды до другой, через ее количественную характеристику на этом участке[1]:

$$\Delta soil(IWD) = \Delta soil(i,j) \propto^{NL} \frac{1}{time(i,j;IWD)} \quad (3)$$

$time(i,j;IWD)$ - время, которое агенту IWD необходимо, чтобы преодолеть путь от i до j участка. При этом количество земли на промежутке выражается по формуле:

$$\Delta soil(i,j) = \frac{a_s}{b_s + c_s * time^{\theta}(i,j;vel^{IWD})} \quad (4)$$

Где a , b , c и θ – вещественные положительные параметры, также полученные эмпирическим путем.

Время движения элемента устанавливается законами физики для прямолинейного движения. Соответственно, оно имеет линейную прямую

зависимость от расстояния между двумя точками пути и обратную зависимость от скорости[1]:

$$time(i, j; IWD) \propto^L \frac{1}{velocity(IWD)} \quad (5)$$

В данном случае \propto^L представляет линейную зависимость. Формула для вычисления времени принимает вид:

$$time(i, j; vel^{IWD}) = \frac{HUD(i, j)}{vel^{IWD}} \quad (6')$$

В формуле (6') $HUD(i, j)$ - это функция расстояния, которая меняется в зависимости от конкретной задачи. Для решения задачи коммивояжера за эту величину принято Эвклидово расстояние между точками i и j . Тогда, формулу (6') можно записать как:

$$time(i, j; vel^{IWD}) = \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}{vel^{IWD}} \quad (6)$$

x_1, x_2, y_1, y_2 – соответствующие координаты 1-го и 2-го городов (вершин графа, для которого необходимо найти решение).

При каждом прохождении агента между городами он уносит с собой некое количество земли. Между изменением запасенной на участке пути почвой и почвой, уносимой каждым боидом, существует прямая линейная связь, то есть:

$$soil(i, j) \propto^L \Delta soil(i, j) \quad (7)$$

Для выражения этой зависимости используются коэффициенты ρ_0 и ρ_n - два вещественных положительных числа в пределах от 0 до 1. Причем их сумма равна единице. Эта связь выражается следующей формулой:

$$soil(i, j) = \rho_0 * soil(i, j) + \rho_n * \Delta soil(i, j) \quad (8)$$

Еще одним немаловажным фактором перемещения роя является вероятность перехода каждого отдельного элемента к какому-либо новому

участку пути. Этот фактор зависит от разности количества земли на текущем и выбранном для исследования участках. Направлением для дальнейшего передвижения выбирается то, где указанная разность минимальна. Подсчет величины производится циклически путем перебора всех возможных путей перехода от текущей точки. Бойд может посетить каждый новый j -ый участок только однажды. Таким образом, гарантируется выбор единственного верного направления движения. Если же такого решения не находится, т.е. все возможные пути имеют равное количество почвы, движение производится по случайно выбранному направлению. Так обеспечивается просмотр всех возможных вариантов обхода заданного в условиях графа. Все элементы передвигаются одновременно.

Алгоритм интеллектуальных капель воды

Рой представляет собой некое количество бойдов, перемещающихся в заданных пределах для нахождения оптимального решения. Входные данные отображают граф размерностью n вершин – количество городов, которое должен обойти коммивояжёр и n строк, содержащих координаты соответствующих городов. Агент начинает свой путь из любой случайной вершины, обходит весь граф, возвращаясь в точку начала обхода, тем самым фиксируется минимальное время его обхода. Так как движение всего роя начинается одновременно, реализуется модель настоящей реки, где капля, пройдя определённый путь, влияет на прохождение другой капли этого или смежного пути через изменение количества почвы на участке.

При смене вершины фиксируется минимальное время, необходимое для преодоления заданного расстояния. По завершении нахождения решения, отыскивается лучший итоговой промежуток времени, за который элементы обошли заданный граф. Значения заносятся в массив, содержащий минимальные времена для каждой новой итерации. В это же время, когда бойды завершили обход, итерация завершается, все значения обнуляются, и цикл повторяется снова.

Общую структуру алгоритма можно разбить на 8 шагов. Итоговая последовательность действий имеет следующий вид:

1. Инициализация данных:

- определяются входные данные – число городов и их координаты;
- указывается максимальное количество итераций;
- счетчики количества итераций, обходов графа и пройденных городов для роя обнуляются;
- создаются боиды – капли воды; число активных элементов совпадает с количеством городов. Такой подход позволяет ускорить нахождение оптимального пути путем сокращения общего числа итераций;
- параметры обновления скорости устанавливаются как: $a_v = c_v = 1$, $b_v = 0,1$. Подобная комбинация позволяет находить кратчайшее расстояние за минимально возможное время в силу своих малых значений;
- коэффициенты обновления почвы: $a_s = c_s = 1$, $b_v = 0,1$. Выбранные значения подобраны эмпирическим путем;
- выявляются коэффициенты почвенного обновления - ρ_0 и ρ_n . Данные параметры установлены как 0.9 и 0.1. Опытным путем выяснено, что при указанных значениях линейно и плавно обновляется количество земли, измененной проходящей каплей, и количество земли, которое эта капля уносит с собой;
- количество почвы, находящееся изначально на ребрах графа, принимается за 10000;
- начальная скорость боидов равна 200.

2. Все элементы случайным образом располагаются на вершинах графа.

3. Обновляется список посещенных агентом городов, куда заносится первый случайно выбранный город.

4. До тех пор пока рой не пройдет все вершины, циклично повторяются шаги 5.1-5.5:

5.1. Для капли, которая находится в городе i , выбирается следующий для посещения город j . Как оговаривалось ранее, для этого перебираются все возможные направления движения; так определяется вершина, разница в

количестве почвы с которой минимальна. Обновляется список городов, посещенных агентом.

5.2. При перемещении боида изменяется его скорость, зависящая от времени. t – параметр, определяющий номер итерации, т.е. $t+1$ – каждая следующая итерация, тогда:

$$vel^{IWD}(t+1) = vel^{IWD}(t) + \frac{a_v}{b_v + c_v * soil^2(d,j)} \quad (9)$$

5.3. Изменение скорости и факт перемещения являются факторами изменения количества уносимой земли от вершины i до вершины j , то есть имеется зависимость этого количества от скорости элемента и времени его движения:

$$\Delta soil(i,j) = \frac{a_s}{b_s + c_s * time^2(i,j,vel^{IWD}(t+1))} \quad (10)$$

Время выражается как Эвклидово расстояние между точками, деленное на скорость движения капли (6).

5.4. На этом шаге модифицируется количество почвы, которое находится между i -й и j -й вершинами, т.е. на ребре графа:

$$soil(d,j) = [(1 - \rho)]_n * soil(d,j) + \rho_n * \Delta soil(d,j) \quad (11)$$

Где $[(1 - \rho)]_n = \rho_0$ из указанного в формуле (8) соотношения.

5.5. Вычисляется лучшее время преодоления указанного промежутка пути. Обозначим его за T^{IWD} .

6. Минимальное время обхода графа находится по формуле:

$$T^{IB} = \min_{v^{IWD}, 1..n} T^{IWD} \quad (12)$$

7. Общее лучшее время при обходе по оптимальному пути:

$$T^{TB} = \min_{v^{TIB}} T^{IB} \quad (13)$$

8. Алгоритм заканчивает свою работу с полученным значением оптимального времени, требуемого на обход графа с заданными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хамед Ш-Х. Оптимизация природных алгоритмов. Алгоритм интеллектуальных капель воды / Хамед Ш-Х. – Тегеран: университет Шахид Бехешти, 2009. – 320 с.

REFERENCES

1. Khamed Sh-Kh. Optimizatsiya prirodnykh algoritmov. Algoritm intellektualnykh kapel vody / Khamed Sh-Kh. – Tegeran: universitet Shakhid Bekheshti, 2009. – 320 s

*ADAPTATION OF INTELLIGENT WATER DROPS ALGORITHM FOR SOLVING
COMBINATORIAL PROBLEMS*

KH.S. ZAKIYAN, V.A. CHASTIKOVA

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;
e-mail: o013xc@yandex.ru*

There are many algorithms and methods for solving combinatorial problems, both classical and heuristic, which show better performance and speed. This article discusses one of the algorithms of swarm intelligence is the intelligent water drops algorithm to solve this class of problems, in particular, the traveling salesman problem. Displays a mathematical model of the algorithm, the selection of the numerical coefficients obtained empirically. It is expected the comparative analysis of this algorithm with other popular methods for solving the problem.

Key words: swarm intelligence, intelligent water drops algorithm, heuristic algorithms, travelling salesman problem, optimization.