УДК 55.519.67

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫЙ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ

Ю. Б. Нечаев, Ю. А. Дергачев

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 1.03.2009 г.

Аннотация. Одной из важнейших задач телекоммуникационных сетей является адаптивная маршрутизация передаваемых пакетов. Она относятся к классу комбинаторно- оптимизационных задач, не имеющих простых аналитических решений. Известно [1], что эта задача может быть сформулирована в виде задачи коммивояжера и для ее решения можно использовать нейронные сети Хопфилда.

Ключевые слова: телекоммуникационные сети, комбинаторно- оптимизационные задачи, нейронные сети Хопфилда.

Abstract. One of the major problems of telecommunication networks is adaptive routing of transferred packages. It belong to the class of the combinatory-optimizing problems which do not have simple analytical decisions. It is known [1] that this problem can be formulated in the form of a problem of the direct-sales representative and for its decision it is possible to use neural networks of Hopfild.

Keywords: telecommunication networks, combinatory-optimizing problems, neural networks of Hopfild.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач телекоммуникационных сетей является адаптивная маршрутизация передаваемых пакетов. Она относятся к классу комбинаторно- оптимизационных задач, не имеющих простых аналитических решений. Известно [1], что эта задача может быть сформулирована в виде задачи коммивояжера и для ее решения можно использовать нейронные сети Хопфилда. Работа поддержана РФФИ, гранты № 08-02-13555 офц_ц, №09-07-97522 р_центр_а.

1. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ХОПФИЛДА ДЛЯ АДАПТИВНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

В классической постановке, коммивояжер должен объехать n городов по замкнутому маршруту, посетив каждый из них лишь однажды, таким образом, чтобы полная длина его маршрута была минимальной. Если решать эту задачу перебором всех замкнутых путей, связывающих города, то придется проверить все (n-1)!/2 возможных маршрутов. Задача коммивояжера не имеет практически реализуемого точного решения. В данной работе рассматриваются приближенные методы ее решения с помощью нейросетей. Для решения задачи коммивояжера с помощью нейронной сети Хопфилда нужно закодировать маршрут активностью нейронов и так подобрать связи между ними, чтобы энергия сети оказалась связанной с полной длиной маршрута.

Для этого используется следующий способ. Пусть сеть, состоит из n×n бинарных нейронов, состояния которых обозначим $\nu_{ia} \in \{0,1\}$,где индекс i кодирует город, а индекс α -номер города в маршруте. Если обозначить через d_{ij} расстояние между i-м и j-м городами, решение задачи коммивояжера сводится к минимизации целевой функции:

$$L(v) = \frac{1}{2}\left(\sum_{i,j,\alpha}^{i\neq j} d_{ij} v_{ij} (v_{j,\alpha-1} + v_{j,\alpha+1})\right) \qquad (1)$$

при дополнительных условиях:

$$\begin{aligned} &1.\ \sum\nolimits_i v_{ij} = 1, \\ &2.\ \sum\nolimits_\alpha v_{ia} = 1. \end{aligned} \qquad (2)$$

Первое из условий (2) означает, что любой город в маршруте встречается лишь однажды, а второе - что маршрут проходит через каждый город.

Общий подход к ограничениям в задачах оптимизации состоит в том, что в итоговый функционал, подлежащий минимизации, включаются штрафные члены, увеличивающие целевую функцию при отклонении от накладываемых ограничений. В данном случае в качестве энергии состояния сети можно выбрать функционал:

$$E(v) = \frac{1}{2}(\sum_{i,j,\alpha}^{i\neq j} d_{ij} v_{ij}(v_{j,\alpha-1} + v_{j,\alpha+1}) + \\ + \frac{\gamma}{2}\left(\sum_{\alpha}\left(\sum_{i} v_{i\alpha} - 1^2\right) + \sum_{i}\left(\sum_{\alpha} v_{i\alpha} - 1\right)^2\right) \quad (3)$$

множитель Лагранжа g регулирует строгость соблюдения дополнительных условий в конечном решении. После того, как целевая функция задачи построена, можно определить, какие связи в нейронной сети следует выбрать, так чтобы функционал энергии состояния в ней совпал с этой функцией. Для этого нужно приравнять выражение для E(ν) к энергии рекуррентной сети:

$$E(v) = \frac{1}{2}\sum_{i,j}^{i\neq j}\sum_{\alpha,\beta}^{\alpha\neq\beta} w_{i,\alpha,j,\beta} v_{j\beta} + \sum_{i,\alpha} \vartheta_{i\alpha} v_{i\alpha} \quad (4)$$

и определить значения синаптических связей [2]:

$$w_{i,\alpha,j,\beta} = -d_{ij}(\delta_{\alpha-1,\beta} + \delta_{\alpha+1,\beta})\gamma\delta_{\alpha\beta} - \gamma\delta_{ij}. \quad (5)$$

Общее число весов в сети - порядка n^3. Значение множителя Лагранжа γ необходимо зафиксировать на уровне его среднего:

$$\tilde{\gamma} \approx \frac{1}{n}\sum_{i,j}^{n} d_{ij} \quad (6)$$

Для минимизации функционала E(ν) можно применять различные методы. В данной работе предлагается использовать муравьиный алгоритм. Задача состоит в поиске минимального по длине замкнутого маршрута по всем вершинам без повторений на полном взвешенном графе с n вершинами. Содержательно вершины графа являются городами, которые должен посетить коммивояжёр, а веса рёбер отражают расстояния между ними. Моделирование поведения муравьёв связано с распределением особого вещества (феромона) на тропе – ребре графа в задаче коммивояжёра. При этом вероятность включения ребра в маршрут отдельного муравья пропорциональна количеству феромона на этом ребре, а количество откладываемого феромона пропорционально длине маршрута. Чем короче маршрут, тем больше феромона будет отложено на его рёбрах, следовательно, большее количество муравьёв будет включать его в синтез собственных маршрутов. В начале алгоритма количества феромона на рёбрах принимается равным небольшому положительному числу. Количество феромона уменьшается со временем вследствие испарения. Правило испарения имеет вид:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t), \\ \Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^{n}\Delta\tau_{jik}(t). \quad (7)$$

Общее количество муравьёв остаётся постоянным и равным количеству городов, каждый муравей начинает маршрут из своего города. С учётом особенностей задачи коммивояжёра, локальные правила поведения муравьёв при выборе пути можно описать следующим образом:

1. Муравьи имеют собственную «память». Поскольку каждый город может быть посещён только один раз, то у каждого муравья есть список уже посещённых городов – список запретов. Обозначим через J_{ik} список городов, которые необходимо посетить муравью k, находящемуся в городе i;

2. Муравьи обладают «зрением» – видимость есть эвристическое желание посетить город j, если муравей находится в городе i. Будем считать, что видимость обратно пропорциональна расстоянию между городами;

3. Муравьи обладают «обонянием» – они могут улавливать след феромона, подтверждающий желание посетить город j из города i на основании опыта других муравьёв. Количество феромона на ребре (i,j) в момент времени t обозначим через τ_{ij} (t);

4. На этом основании можно сформулировать вероятностно-пропорциональное правило, определяющее вероятность перехода k-ого муравья из города i в город j:

$$\begin{cases} P_{ijk} = \dfrac{[\tau_{ij}(t)]^a[\eta_{ij}]^b}{\sum\limits_{l\in J_{ik}}[\tau_{il}(t)]^a[\eta_{il}]^b}, j \in J_{ik}; \\ P_{jik}(t) = 0, j \notin J_{ik} \end{cases} \quad (8)$$

здесь a, b – параметры, задающие веса следа феромона;

5. Пройдя ребро (i,j), муравей откладывает на нём некоторое количество феромона, которое

должно быть связано с оптимальностью сделанного выбора. Пусть есть маршрут, пройденный муравьём k к моменту времени t – длина этого маршрута, а Q – параметр, имеющий значение порядка длины оптимального пути. Тогда откладываемое количество феромона может быть задано в виде:

$$\Delta\tau_{ijk}(t) = \begin{cases} \dfrac{Q}{L_k(t)}, (i,j) \notin T_k(t) \\ 0, (i,j) \notin T_k(t) \end{cases} \qquad (9)$$

Таким образом, в итоге, на оптимальном маршруте будет отложено наибольшее количество феромона.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Целью проводимого эксперимента являлись:

1. Проверка работоспособности изложенного выше алгоритма;

2. Установление относительной эффективности поиска оптимального маршрута в сетях с динамической архитектурой;

Для проверки работоспособности полученного алгоритма, был синтезирован тестовый набор матриц смежности неориентированных графов (маршрутов) с небольшим числом узлов (до 100 узлов). При синтезе тестов учитывались такие особенности графов, как связность, число и тип циклов. На каждом из тестовых графов были выбраны 2 узла, которые соответствовали начальной и конечной точкам маршрута. Выбор узлов происходил таким образом, чтобы между этими узлами существовал единственный оптимальный маршрут. После выбора узлов, с помощью волнового алгоритма происходил поиск оптимального маршрута. Далее производилось сравнение двух результатов (полученного с помощью волнового и тестируемого алгоритмов). После тестирования был произведен расчет «процента корректности» (процента совпадений полученного маршрута с оптимальным).

Итог тестирование приведен ниже:

Количество опытов	Число совпадений	Процент корректности
200	168	84%

Для установления эффективности алгоритма был синтезирован неориентированный граф с 2000 узлов, из которых были выбраны 2 таким образом, чтобы длина маршрута между ними была не менее 50 узлов. Далее, был найден оптимальный маршрут по тестируемому алгоритму, алгоритмам DSDV, AODV и волновому алгоритму поиска пути. После поиска оптимального маршрута выбирался его промежуточный узел для изоляции таким образом, чтобы длина нового оптимального маршрута не уменьшалась. Исследуемый алгоритм (вместе с волновым, DSDV и AODV) запускались заново, на измененном графе. Критерием эффективности служило время поиска нового оптимального маршрута.

Результат сравнения алгоритмов приведен на графике ниже

По оси абсцисс отложено число узлов оптимального маршрута, по оси ординат – число

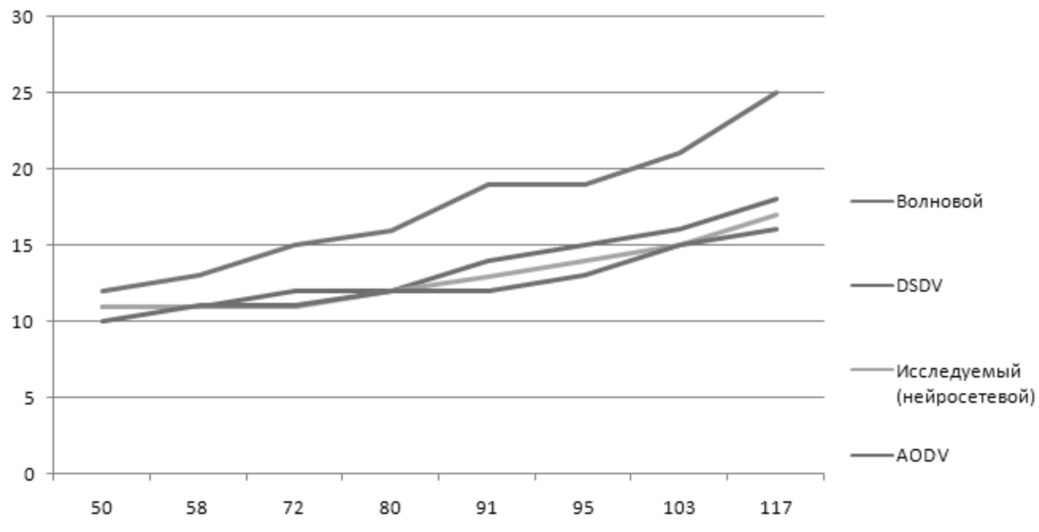

Рис 1. Сравнение алгоритмов

единиц безразмерного времени, которое ушло на поиск оптимального маршрута.

Из сравнительного анализа видно, что при увеличении числа промежуточных вершин в оптимальном маршруте, исследуемый алгоритм показывает лучший результат, чем DSDV и уступает алгоритму AODV, однако он обладает одним существенным перед ними. Оба известных алгоритма предполагают хранение промежуточных таблиц маршрутизации (или таблиц смежности) в каждом узле сети, где осуществляется маршрутизация; однако не все типы сетевых устройств обладают достаточными ресурсами. Примером такой сети может служить система беспроводных радиомаяков для сбора геодезической информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, решение задачи маршрутизации с помощью нейронных сетей позволяет быстро проводить маршрутизацию в сетях с динамической архитектурой, исключая простой перебор узлов сети, что значительно сокращает время доставки пакетов и экономит вычислительные ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Комашинский В.И., Смирнов Д.А.* Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. - Москва: Горячая линия - Телеком, 2003 – 94 с.

2. *Галушкин А.И.* Нейрокомпьютеры в разработке военной техники США – Зарубежная радиоэлектроника, 1995 №6 стр. 4.21

Нечаев Юрий Боисович - д. ф.-м. н., проф., кафедра Информационных систем, Воронежский государственный университет.Тел. (4732)208-724.

Дергачев Юрий Аркадьевич – аспирант, инженер, ОАО ‘Концерн Созвездие’, E-mail: ametisr84@list.ru.

Nechayev Yu. B. – Doctor of physics-math. sciencec, proffessor of dept. of the Information Systems, Voronezh State University.

Dergachev Yu. A. – Post-graduate student, engineer of department ОАО ‘Концерн Созвездие’, E-mail: ametisr84@list.ru.