НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Бельков Д.В., Андрусьев С.Э.
Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет
Донецкий институт рынка и социальной политики

An important practical task, arising up on the stage of the routing in the network, is decided in this article. The task is formuling as the traveling salesman problem. The Hopfield network and ant colony method for this task are proposed.

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.

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 $n \times n$ бинарных нейронов, состояния которых обозначим $\nu_{i\alpha} \in \{0,1\}$, 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 $L(\nu) = \frac{1}{2}\sum_{i,j,\alpha}^{i \neq j} d_{ij}\nu_{i\alpha}(\nu_{j,\alpha-1} + \nu_{j,\alpha+1})$ при дополнительных условиях $\sum_i \nu_{i\alpha} = 1$, $\sum_\alpha \nu_{i\alpha} = 1$. Первое из условий 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

$$E(\nu)=\frac{1}{2}\sum_{i,j,\alpha}^{i\neq j} d_{ij}\nu_{i\alpha}(\nu_{j,\alpha-1}+\nu_{j,\alpha+1})+\frac{\gamma}{2}[\sum_\alpha(\sum_i\nu_{i\alpha}-1)^2+\sum_i(\sum_\alpha\nu_{i\alpha}-1)^2],$$ где

множитель Лагранжа γ 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 $E(\nu)$ к энергии рекуррентной сети $E(\nu)=\frac{1}{2}\sum_{i,j}^{i\neq j}\sum_{\alpha,\beta}^{\alpha\neq\beta} w_{i,\alpha,j,\beta}\nu_{j\beta}+\sum_{i,\alpha}\vartheta_{i\alpha}\nu_{i\alpha}$ и определить значения синаптических связей $w_{i,\alpha,j,\beta}=-d_{ij}(\delta_{\alpha-1,\beta}+\delta_{\alpha+1,\beta})\gamma\delta_{\alpha\beta}-\gamma\delta_{ij}$ и значения порогов нейронов $\vartheta_{i\alpha}$. Общее число весов в сети - порядка n^3. Значение множителя Лагранжа γ необходимо зафиксировать на уровне его среднего: $\bar{\gamma}\approx\frac{1}{n}\sum_{i,j}^{n} d_{ij}$.

Для минимизации функционала $E(\nu)$ 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. Правило испарения имеет вид $\tau_{ij}(t+1)=(1-\rho)\cdot\tau_{ij}(t)+\Delta\tau_{ij}(t)$, $\Delta\tau_{ij}(t)=\sum_{k=1}^{n}\Delta\tau_{ijk}(t)$. 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 $\tau_{ij}(t)$; 4) На этом основании можно сформулировать вероятностно-пропорциональное правило, определяющее вероятность перехода k-ого муравья из города i в город j:

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

. 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

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

Перечень ссылок

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