УДК 681.3.06

Е.Е. Слядников

Оптимизация функционирования распределенных систем передачи данных для труднодоступных объектов с помощью метода нейронной сети

Решена задача маршрутизации и планирования использования линий радиосвязи для сетей пакетной передачи данных для труднодоступных объектов с помощью метода нейронной сети. Метод нейронной сети Хопфилда, использованный для решения задачи, показал близость получаемых результатов к оптимальным, что свидетельствует о робастности предложенной модели.

Ключевые слова: распределенная информационно-телекоммуникационная система, пакетная передача данных, труднодоступные объекты, нейронные сети.

Введение

Предметом исследования данной статьи являются распределенные информационно-телекоммуникационные системы с пакетной передачей данных для труднодоступных объектов. В процессе проектирования обеспечивающих и функциональных подсистем систем передачи данных возникает ряд задач, требующих оценки количественных и качественных показателей функционирования аппаратно-программных средств [1]. При проведении структурного, алгоритмического, параметрического анализа таких систем необходимо учитывать следующие особенности: системы являются многоканальными, их каналы связи имеют различную физическую природу, невысокую пропускную способность; системы имеют иерархическую структуру и распределенную топологию. Такого типа системы с пакетной передачей данных используются для построения систем оповещения и связи, автоматизированных систем сбора оперативных данных (авиабазы охраны лесов, государственные лесные службы, гидрометслужбы) [2]. Актуальность исследования и создания подобных систем обусловлена крайней необходимостью в совершенствовании существующей технологии сбора первичной информации в труднодоступных районах, оперативного формирования данных в нужных форматах и своевременной их передачи в контрольные сроки заинтересованным службам и ведомствам.

Спецификой этого класса систем передачи данных является ориентация на низкоскоростные каналы связи (КВ-, УКВ-радиоканалы, персональная спутниковая связь), на основе которых обеспечивается функционирование резервных систем передачи данных, обладающих высокой живучестью в чрезвычайных ситуациях. Такие системы передачи данных для труднодоступных объектов относятся к классу сложных систем, проектирование, эксплуатация и модернизация которых невозможны без использования различных видов моделирования. Выбор метода моделирования и необходимая детализация модели существенно зависят от текущей стадии работы с системой. Моделирование на этапах проектирования и эксплуатации системы передачи данных имеет разное целевое назначение, однако возможен общий подход для анализа ситуаций при обосновании проектных решений и при управлении объектами [3].

В настоящей работе решается задача маршрутизации и планирования использования линий радиосвязи для сетей пакетной передачи данных для труднодоступных объектов с помощью метода нейронной сети. Задачи, связанные с выбором маршрута, планированием работы средств связи, относятся к классу сложных комбинаторно-оптимизационных задач, как правило, не имеющих простых аналитических решений. Кроме того, сложность необходимых вычислений экспоненциально возрастает при увеличении количества узлов в сети. Поэтому в настоящее время широко применяют различные эвристические процедуры, полученные путем творческого поиска, интуиции и опыта исследователя. Альтернативой существующим методикам решения задач маршрутизации является использование нейросетевых моделей, которые позволяют при значительном снижении временных затрат получить хорошие оптимальные решения. Так, для решения комбинаторно-оптимизацион-ных задач широко используются модели, построенные на основе нейронной сети Хопфилда [4], впервые примененные для решения задачи о коммивояжере. Для решения настоящей проблемы использованы основные принципы организации вычислений, сформулированные при решении задачи коммивояжера.

Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

1. Структура и модель распределенной системы передачи данных для труднодоступных объектов

Техническая и программная конфигурация системы передачи данных для труднодоступных объектов определяется исходя из топологии и условий местности ее развертывания и строится на основе комбинации трех функционально-ориентированных аппаратно-программных комплексов (рис. 1):

• АПК-ЦСД – аппаратно-программный комплекс для центра сбора данных (как правило, размещается в управлениях или территориальных гидрометеоцентрах);

• АПК-КРС – аппаратно-программный комплекс для кустовых центров сбора данных (как правило, размещается на одной из наиболее доступных радирующих станций);

• АПК-МЕТЕО – аппаратно-программный комплекс для метеостанций.

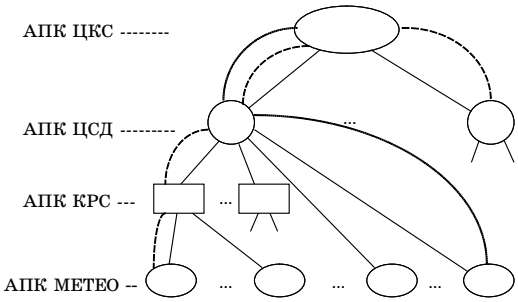

Рис. 1. Обобщенная структура системы передачи данных

Технической основой системы связи являются абонентские терминалы оператора метеостанции и оператора ЦСД, а также центральный блок связи, выполненные на базе различных модификаций пакетного контроллера ВИП-М и обеспечивающие передачу данных по проводным линиям, радио- и спутниковому каналам связи.

Аппаратно-программные комплексы пакетной связи для сбора, передачи и обработки гидрометеорологической информации (АПК-ЦСД) являются компонентом многоуровневой, территориально распределенной системы связи и обеспечивает функционирование сети автоматизированной подготовки первичной информации в специализированных форматах для центров коммутации сообщений (ЦКС) гидрометеослужб регионального уровня.

Аппаратно-программный комплекс пакетной связи для сбора, передачи и обработки гидрометеорологической информации (АПК-КРС) является компонентом многоуровневой, территориально распределенной системы связи и обеспечивает функционирование сети автоматизированной подготовки первичной информации в специализированных форматах для АПК-ЦСД гидрометеослужб. АПК-КРС занимает промежуточное положение и предназначен для приема, обработки и обобщения гидрометеоданных от метеостанций и передачи метеоинформации в центр сбора данных.

АПК-МЕТЕО устанавливается на метеостанциях и гидропостах и обеспечивает автоматизированный сбор, подготовку и передачу первичной информации в специализированных форматах, принятых в АПК КРС, АПК ЦСД, АПК ЦКС.

Аппаратура системы связи с пакетной передачей данных обеспечивает возможность передачи метеоданных по следующим каналам связи:

• спутниковому каналу;

• радиоканалам;

• телефонным каналам.

Простейшую модель рассмотренной выше сети связи с пакетной передачей данных для труднодоступных объектов можно сформулировать как совокупность множества узлов и множества соединяющих узлы ребер. Топологию сети удобно представлять с помощью графа связанности сети пакетной передачи данных, состоящего из множества пар N – исходная вершина АПК-МЕТЕО – конечная вершина АПК-ЦСД и множества линий связи, соединяющих каждую пару МЕТЕО-ЦСД. Предполагается, что в системе используется тактированный множественный доступ, и длительность временных окон соответствует длине пакета (все пакеты имеют фиксированную длину), а на каждом узле имеется только один приемопередатчик. Считаем также, что линии связи между соответствующими парами узлов активизируются (используются для передачи) по мере необходимости.

Требуется выбрать единственный маршрут между каждой парой МЕТЕО-ЦСД с таким расчетом, чтобы минимизировать желаемый критерий качества работы. Показатель качества работы должен согласовываться со структурой нейронной сети Хопфилда. По аналогии с задачей коммивояжера такой показатель, называемый «энергией» пересечений маршрутов, зададим формулой

$$E_b = (-1/2)\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1,k\neq i}^{N}\sum_{j=1}^{N_P(i)}\sum_{l=1}^{N_P(k)}\left|P_{ij}\cap P_{kl}\right|S_i^j S_k^l, \qquad (1)$$

Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

где P_{ij} – j-й маршрут между МЕТЕО-ЦСД парой i; $|P_{ij} \cap P_{kl}|$ – число узлов сети, которые совместно используют маршруты P_{ij}, и P_{kl}, $S_i^j = 1$, если выбирается P_{ij}, и $S_i^j = 0$ если не выбирается P_{ij}, $N_P(i)$ – число вариантов маршрутов, определенных между МЕТЕО-ЦСД парой i.

Цель состоит в минимизации E_b с учетом того, что для каждой пары МЕТЕО-ЦСД выбирается только один маршрут (т.е. $S_i^j = 1$ для единственного значения j для каждого значения i). В этом случае «энергия» пересечений маршрутов соответствует сумме числа общих узлов всех выбранных маршрутов (одного для каждой МЕТЕО-ЦСД пары), взятых попарно. Например, на рис. 2 показан сегмент сети пакетной передачи данных с шестью узлами и двумя маршрутами между каждой из двух МЕТЕО-ЦСД пар (1; 4), (6; 3).

Задача маршрутизации состоит в выборе либо пары P_{11} или P_{12} для соединения МЕТЕО-ЦСД (1;4), либо пары P_{21} или P_{22} для соединения МЕТЕО-ЦСД (6;3). Допустимое решение, которое задается выбором трасс P_{11} и P_{22}, имеет энергию пересечений маршрутов $E_b = 1$, так как эти маршруты имеют один общий узел (узел 4).

2. Метод нейронной сети для оптимизации функционирования распределенной системы передачи данных для труднодоступных объектов

Построим нейронную сеть Хопфилда, используемую для выбора маршрута между несколькими МЕТЕО-ЦСД парами в сети пакетной передачи данных.

Выходные напряжения нейронов (которые и определяют их состояния) такой нейронной сети приближаются к двоичным значениям по мере перехода сети к состоянию устойчивого равновесия с минимальной «энергией». Соединения между нейронами i и j описываются весом T_{ij}, который положителен, если соединение возбуждающее, и отрицателен, если соединение тормозящее (запрещающее). В рассматриваемой нейронной сети каждому маршруту между каждой МЕТЕО-ЦСД парой соответствует один нейрон. Вариант нейронной сети для сегмента сети связи с пакетной передачей данных, изображенного на рис. 2, представлен на рис. 3. В соответствии с рис. 3 нейрон ij отображает маршрут j между МЕТЕО-ЦСД парой i.

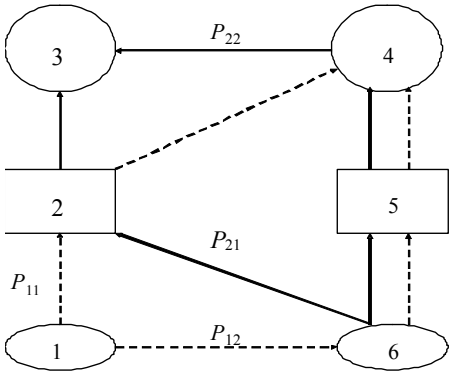

Рис. 2. Сегмент сети пакетной передачи данных
с шестью узлами и двумя маршрутами между каждой из двух МЕТЕО-ЦСД пар

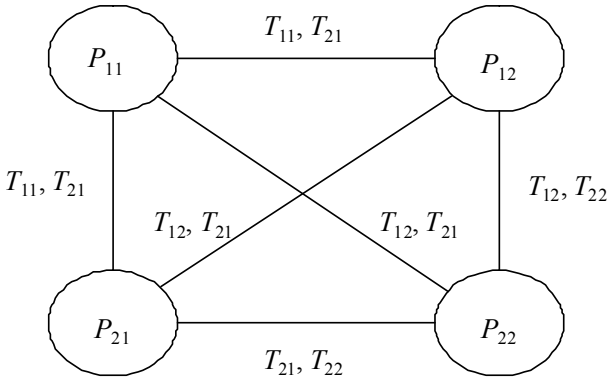

Рис. 3. Модель нейронной сети для сегмента сети связи с пакетной передачей данных

Нейронная сеть эволюционирует от какого-то начального состояния до состояния равновесия, которое соответствует минимуму (не обязательно глобальному) функции Ляпунова, которая может быть записана через веса соединений, токи смещений и напряжения на выходах нейронов следующим образом:

$$E = -(1/2)\sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1,k\neq i}^{N} \sum_{j=1}^{N_P(i)} \sum_{l=1}^{N_P(k)} T_{ij,kl} S_i^j S_k^l - \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N_P(i)} S_i^j I_{ij}. \quad (2)$$

Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

В выражении (2) $T_{ij,kl}$ – вес соединения между нейронами ij и kl; I_{ij} – ток смещения, прикладываемый к нейрону ij; $N_P(i)$ – число маршрутов между МЕТЕО-ЦСД парой i. В рассматриваемой модели веса соединений являются симметричными (т.е. $T_{ij,kl} = T_{kl,ij}$). Эта симметрия гарантирует сходимость к устойчивому состоянию. Общее число нейронов N_n задается как $N_n = \sum_{i=1}^{N} N_P(i)$, а веса соединений $T_{ij,kl}$ являются элементами матрицы связности размерности $N_n \times N_n$.

Таким образом, целевая функция, моделируемая с помощью нейронной сети Хопфилда, включает взвешенные суммы произведений пар выходных напряжений нейрона и выходных напряжений, взятых по отдельности. При выборе E_b вида (1) предполагалось, что оценивается энергия пересечений маршрутов в допустимом состоянии, т.е. активируется только один маршрут для каждой пары МЕТЕО-ЦСД ($S_i^j = 1$ для единственного значения j для каждого значения i, а остальные значения $S_i^j = 0$). Однако для достижения сходимости величины S_i^j принимают значения в континууме [0,1] и выражение для энергии пересечений маршрутов, определяемое с помощью выражения (1), применимо в полной мере только при аналоговой реализации системы.

Рассматриваемая задача оптимизации с целым рядом ограничений может быть сведена к задаче без ограничений за счет включения ограничений в целевую функцию посредством использования множителей Лагранжа. Функция «энергии» пересечений маршрутов при этом приобретает следующий вид:

$$E = E_b - I\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N_P(i)} S_i^j + \sum_{c=1}^{3} a_c E_c . \qquad (3)$$

Ограничения для задачи являются соответствующими членами в выражении для «энергии» пересечений маршрутов (E_c равно нулю, если ограничение выполняется) и формулируются так:

1) На пару МЕТЕО-ЦСД активизируется (выбирается) не более одного маршрута:

$$E_1 = (1/2)\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N_P(i)}\sum_{l=1, i\neq j}^{N_P(k)} S_i^j S_i^l = 0 .$$

2) В сети выбираются строго N маршрутов:

$$E_2 = (1/2)[\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N_P(i)} S_i^j - N_{MK}]^2 = 0 .$$

3) На пару МЕТЕО-ЦСД выбирается строго один маршрут

$$E_3 = (1/2)\sum_{i=1}^{N} [\sum_{j=1}^{N_P(i)} S_i^j - 1]^2 = 0 .$$

Хотя последнее ограничение представляется избыточным (выполнение первых двух гарантирует удовлетворение последнего), его включение в уравнение «энергии» полезно для достижения быстрой сходимости.

Подстановка выражений для E_b и E_c в (3) дает

$$E = (-1/2)\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1, k\neq i}^{N}\sum_{j=1}^{N_P(i)}\sum_{l=1}^{N_P(k)} \left|P_{ij} \cap P_{kl}\right| S_i^j S_k^l + (a_1/2)\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N_P(i)}\sum_{l=1, i\neq j}^{N_P(k)} S_i^j S_i^l +$$

$$(a_2/2)[\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N_P(i)} S_i^j - N]^2 + (a_3/2)\sum_{i=1}^{N} [\sum_{j=1}^{N_P(i)} S_i^j - 1]^2 - I\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N_P(i)} S_i^j . \qquad (4)$$

Одним из самых важных вопросов при разработке нейронной сети Хопфилда и дальнейшем моделировании работы системы является вопрос выбора коэффициентов a_c. Фактически любые значения a_c приведут к получению справедливых выражений для E. Однако при эволюции системы может быть гарантирован только локальный минимум, т.е. конечное состояние зависит о начального состояния, при котором начинается эволюция системы. Таким образом, различные значения коэффициентов приводят к получению различных результатов. В большинстве исследований, посвященных использованию ней-

Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)

ронной сети Хопфилда, величины коэффициентов полагаются постоянными, лучшие значения которых обычно определяются в ходе испытаний при программном моделировании. Однако существует ряд подходов, позволяющих во всей полноте использовать метод множителей Лагранжа [4]. В этом случае величины a_c изменяются по мере изменения состояния системы.

Заключение

Оценить качество решения задачи обычно очень трудно, так как число возможных решений для больших сетей очень велико. Например, для узлов 100-узловой сети существует приблизительно 10^{35} различных решений. Поскольку исчерпывающий поиск для такой сети исключается, то при моделировании выполнялся случайный поиск 10^6 выборок решений для получения опорного уровня качества работы и оценки работы нейронной сети. Наилучшее решение, полученное с помощью случайного поиска, имело энергию пересечений маршрутов E=561. Использование традиционных эвристических методов решения задачи маршрутизации позволило получить E=315. Наилучшее решение, найденное с помощью нейронное сети Хопфилда, дало E=293. Моделирование выполнялось для 50 различных начальных состояний. Таким образом, результаты моделирования показывают эффективность рассмотренной модели для минимизации «энергии» пересечений маршрутов в больших сетях связи с пакетной передачей данных. Тот факт, что глобальный минимум находится не всегда, скрашивается тем обстоятельством, что возможно осуществление нескольких испытаний при различных начальных условиях, так что найденное наилучшее решение может выбираться в качестве решения задачи.

Таким образом, метод нейронной сети Хопфилда, использованный для решения задачи маршрутизации и планирования использования линий радиосвязи для сетей пакетной передачи данных для труднодоступных объектов, показал близость получаемых результатов к оптимальным, что свидетельствует о робастности предложенной модели.

Литература

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
2. Сонькин М.А. Архитектура и общая технология функционирования территориально распределенных аппаратно-программных комплексов с пакетной передачей данных / М.А. Сонькин, Е.Е. Слядников // Изв ТПУ. – 2006. – Т. 309, № 5. – С. 131–139.
3. Сонькин М.А. Информационная технология интеграции компонентов многоуровневых систем с пакетной передачей данных / М.А. Сонькин, Е.Е. Слядников // Изв. ТПУ. – 2006. – Т. 309, № 6. – С. 93–101.
4. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. – М.: Мир, 1990. – 108 с.

Слядников Евгений Евгеньевич
Д-р. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. отдела проблем информатизации ТНЦ СО РАН,
проф. кафедры электронных приборов ТУСУРа
Тел.: (3822) 49-13-12
Эл. почта: opi@hq.tsc.ru

E.E. Slyadnikov

Optimization of functioning of the distributed systems of data transmission for remote objects with the help of the method of the neural network

The routing and planning problem of the use of wireless communication links for networks of batch data
transmission for objects difficult of access with the use of neural network technique has been solved. The method of a Hopfield neural network used for the problem solution has shown the close agreement of the results obtained to optimum ones. That verifies a robustness of the suggested model.
Key words: distributed information-telecommunication system, batch data transmission, remote objects, neural network.

Create PDF files without this message by purchasing novaPDF printer (http://www.novapdf.com)