

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ АППАРАТА СЕТЕЙ ПЕТРИ

А. А. Суконщиков, канд. техн. наук; Д. Ю. Крюкова
Вологодский государственный технический университет, г. Вологда, Россия

Приведено решение проблемы повышения качества предоставления QoS-услуг в современных сетях передачи данных посредством построения и реализации в режиме реального времени системы поддержки и принятия решений для сетевых устройств на базе нейронных сетей Петри. Дана формулировка основных функций качества обслуживания пакетов в сетях. Приведено краткое математическое описание нейросетевых модулей сетей Петри, алгоритма работы и структурно-функциональных схем предлагаемой системы. Дано обоснование преимуществ нейросетевого расширения сетей Петри перед обычными нейронными сетями и другими расширениями.

Актуальность систем поддержки принятия решения

Современные системы поддержки принятия решения (СППР), возникшие как естественное развитие и продолжение управленческих информационных систем и систем управления базами данных, представляют собой системы, максимально приспособленные к решению задач повседневной управленческой деятельности, являются инструментом, призванным оказать помощь лицам, принимающим решения (ЛПР). С помощью СППР могут решаться неструктурированные и слабоструктурированные многокритериальные задачи. В качестве ЛПР могут выступать эксперты, специалисты по системному анализу, исследователи операций, системные администраторы и другие специалисты.

СППР, как правило, являются результатом мультидисциплинарного исследования, включающего теории баз данных, искусственного интеллекта, интерактивных компьютерных систем, методов имитационного моделирования.

СППР — это интерактивные автоматизированные системы, помогающие ЛПР использовать данные и модели для решения слабоструктурированных проблем [1, 2].

По определению СППР должны обладать следующими функциональными возможностями:

оперировать с неструктурированными или слабоструктурированными задачами в отличие от задач, с которыми имеет дело исследование операций;

разделение данных и моделей.

СППР в большинстве случаев — это интерактивная автоматизированная система, которая помогает пользователю (ЛПР) использовать данные и модели для идентификации и решения задач и принятия решений.

Основы качества обслуживания трафика

В современном мире главной проблемой глобальных сетей стало обеспечение качества обслуживания трафика сети Quality of Services (QoS). QoS — это суммарный эффект рабочих характеристик, который определяет степень удовлетворенности пользователя качеством передачи информации [3].

Основные показатели производительности сетевого соединения: задержки пакетов; уровень потери пакетов; полоса пропускания; джиттер (дрожание трафика).

В повсеместно используемой сегодня в глобальных сетях версии протокола IP.4 в большинстве случаев предусматривается единственный механизм для организации дифференцированного обслуживания, который основан на поле типа сервиса (Type of Services — ToS) в заголовке IP-пакета. Три бита этого поля позволяют задать восемь уровней приоритета пакета, а значит, и разбить весь трафик на восемь классов.

Современные маршрутизаторы позволяют администратору использовать приоритеты поля ToS для организации различных классов обслуживания. Пакеты, принадлежащие одному потоку, имеют одинаковые значения всех пяти полей в заголовке IP-пакета.



Для поддержки передачи голоса, видео и трафика данных приложений с различными требованиями к пропускной способности системы IP-сети должны обладать возможностью дифференцирования и обслуживания различных типов сетевого трафика в зависимости от предъявляемых ими требований.

Негарантированная доставка данных не предполагает проведения какого-либо различия между тысячами потоков информации в ядре IP-сети. Следовательно, IP-сеть не может обеспечить никакой гарантии надежной доставки трафика приложений. Другими словами, негарантированная доставка данных препятствует передаче трафика, требующего выделения заданного минимума сетевых ресурсов и гарантии предоставления определенных услуг. Для разрешения этой проблемы и было введено такое понятие, как качество обслуживания QoS в сетях IP.

Суть IP (IP QoS) заключается в обеспечении гарантированного и дифференцированного обслуживания сетевого трафика путем передачи контроля за использованием ресурсов ее оператору. QoS представляет собой набор требований, предъявляемых к ресурсам сети при транспортировке потока данных.

Таким образом, QoS обеспечивает сквозную гарантию передачи данных (из "конца в конец" сети), а также основанный на системе правил контроль за такими средствами повышения производительности IP-сети, как механизм распределения ресурсов, коммутация, маршрутизация, механизмы обслуживания очередей и механизмы отбрасывания пакетов.

Ниже перечислены некоторые из основных преимуществ QoS-обслуживания в сетях IP:

- обеспечение наивысшего качества обслуживания для появляющихся мультимедийных служб и приложений, таких как передача голоса по сетям IP (VoIP), передача видеотрафика в реальном времени предъявляют определенные требования к качеству обслуживания;
- обеспечение гарантии обслуживания и дифференцирование сетевого трафика. Это условие является необходимым для объединения аудио-, видеотрафика и трафика приложений в пределах одной IP-сети;
- позволяет поставщикам Internet предлагать клиентам дополнительные услуги наряду со стандартной негарантированной доставкой данных (т. е. предоставлять услуги в соответствии с так называемым классом обслуживания — QoS). Поставщик Internet может определить несколько классов дополнительных услуг и настроить сетевые правила, позволяющие обрабатывать трафик каждого класса в соответствии с заданными параметрами;
- возможность организовывать обслуживание сетевого трафика в зависимости от сгенерировавшего этот трафик приложения, информация о котором содержится в заголовке IP;

- играет значительную роль в развитии новых сетевых технологий, таких как виртуальные частные сети (Virtual Private Networks — VPN).

Основной проблемой при использовании приоритетов пакетов является выработка согласованной политики настройки всех маршрутизаторов сети, которая в результате должна давать определенное качество обслуживания каждому классу трафика между конечными точками сети. Проще всего реализовать такую политику одному провайдеру в пределах контролируемой части сети, что и происходит в частных IP-сетях.

Аппарат нейронных сетей Петри

В данной модели представлено другое решение этой проблемы. Вместо сужения предела предоставления QoS-услуг границами частной сети предлагается повсеместное использование так называемых центров обслуживания сетевых устройств (ЦОСУ), которые будут реализовывать систему поддержки принятия решений на базе аппарата нейронных сетей Петри (НСП) [4]. Эта новая интерпретация двух уже известных подходов к моделированию СППР сочетает в себе достоинства как нейронных сетей, так и маркированных сетей Петри.

Модульная организация нейронных сетей может быть описана как вероятностное соединение стохастических систем (модулей) на основе сети Петри.

Нейронные сети обладают такими важными свойствами, как накопление информации и способность к обучению по выбранному алгоритму обучения, основываясь на обучающих примерах или предыстории какого-либо процесса.

Моделирование ЦОСУ требует наличия инструментов, которые обеспечивали бы моделирование системы в активном состоянии; согласованных действий; создания иерархических структур и т. д. Маркированные сети Петри в полной мере удовлетворяют этим требованиям. Такой подход к описанию нейронной сети позволяет:

увеличить моделирующую способность нейронной сети за счет увеличения ее размерности при модульной организации;

совместить гибкость ансамблевых нейронных сетей с простотой и наглядностью активных семантических сетей за счет применения математического аппарата сетей Петри;

упростить процесс обучения—самообучения за счет универсальности адаптивных алгоритмов оптимизации параметров и структуры сети.

Нейронная сеть Петри определяется следующим набором переменных:

$$NP = (P, T, A, S, F, q, n, n1, g, h, C, R),$$

где P — конечное непустое множество позиций;
 T — конечное непустое множество переходов;

A — отношение, $A \subseteq (P \times T \cup T \times P)$ соответствует множеству дуг;

S — конечное непустое множество стартовых (начальных) позиций;

F — конечное непустое множество финальных (выходных) позиций;

q — вещественная величина, соответствующая времени жизни ("потенциалу") метки в позиции;

n — целочисленная величина, равная минимальному значению активационной функции, необходимой для активизации перехода;

$n1$ — целочисленная величина, равная минимальному значению активационной функции, необходимому для активизации нейронного перехода;

g — функция для определения суммарного потенциала меток в каждой позиции в определенный момент времени;

C — множество цветов меток, $C = \{a, b\}$; $h: T \times P \rightarrow C$ — функция раскраски выходных и входных дуг переходов;

R — функция временных задержек срабатывания переходов.

Метки в НСП имеют два цвета (типа): a — положительный потенциал; b — отрицательный.

Каждой метке соответствует параметр q (время жизни метки). Для активации необходимо, чтобы потенциал входной позиции перехода достиг определенной величины порога срабатывания этого перехода.

Функция суммарного потенциала меток в позиции вычисляется следующим образом:

$$g(p_i) = (K(\tau) + 3/4 K(\tau-1) + 1/2 K(\tau-2) \dots + 1/n K(\tau-n)) - (J(\tau) - 3/4 J(\tau-1) + 1/2 J(\tau-2) \dots + 1/n J(\tau-n)),$$

где $K(\tau)$ — число меток цвета a в позиции p_i в момент времени τ_i ;

$J(\tau)$ — число меток цвета b в позиции p_i в момент времени τ_i .

Переход НСП может сработать при условии, если $g(p_i) \geq n$, где p_i — входная позиция перехода.

Для условно-событийных систем позиции сети Петри интерпретируются как условия, а переходы соответствуют событиям, происходящим в системе. Кроме того, в сетях Петри можно ввести и промоделировать необходимые для оптимальной работы ЦОСУ временные задержки (функция R).

Предлагаемая модель СППР

В разрабатываемой модели СППР работа по обеспечению QoS-услуг уже не будет требовать постоянной оценки ЛПР входящего трафика, а ЦОСУ сам будет предлагать ему наиболее оптимальную в сложившихся условиях сетевого трафика стратегию работы для сетевого устройства.

СППР состоит из нескольких компонент: хранилища данных, внутренней структурной реализации и аналитических средств.

Хранилище данных в разрабатываемой системе предоставляет единую среду хранения стратегий работы СУ (или база знаний) и хранения предысторий (или база данных, выбранных ранее стратегии), организованных в структурах, оптимизированных для выполнения аналитических операций.

Хранилище стратегий представлено базой знаний известных и часто используемых стратегий обработки очередей СУ и механизмов профилирования и формирования трафика (например, WFQ, CQ, WRR и др.).

Хранилище предысторий представляет собой множество принятых ранее решений по выбору оптимальных стратегий работы и показателей входного трафика, при которых данные решения были приняты. Начальные данные в хранилище предысторий задаются или формируются самой СППР в процессе обучения. С помощью хранилища предысторий СППР может прогнозировать разные критические ситуации, приводящие к массовому отбрасыванию пакетов или к плохой пропускной способности сети. Также хранилище предоставляет возможность прогнозировать смену стратегии работы в ближайшее время.

Внутренняя структура реализуется на основе обученной нейронной сети Петри (ОНСП), которая непосредственно выполняет принятие решений на основе анализа сетевого трафика. ОНСП использует стратегию обучения с учителем, в качестве которого выступает реальная предыстория принятых решений. ОНСП принимает решения не только по определению оптимального алгоритма обработки входных очередей, но и по выбору наилучшего механизма профилирования и формирования трафика в каждый момент анализа входящего трафика. Фактически хранилище предысторий позволяет ОНСП "узнавать" и правильно анализировать вариации входящего трафика, которые ранее не предоставлялись ОНСП и не использовались в процессе обучения. ОНСП также может прогнозировать следующую смену стратегии работы СУ, основываясь на предыстории принятых решений.

В разрабатываемой СППР используется следующий алгоритм предоставления QoS-услуг. С постоянной частотой СППР анализирует входящий сетевой трафик по датчикам состояния очередей сетевого устройства. Далее производятся анализ входных сигналов и выделение наиболее критических показателей в очередях СУ, которые требуют немедленной коррекции. На основании полученных данных происходят группировка критических показателей и непосредственно обработка информации в ОНСП и выбор с использованием предыстории наиболее подходящей стратегии. В результате на выходе ОНСП предлагает ЛПР наиболее приемлемую в сложившихся условиях стратегию работы СУ:



В предлагаемой модели реализуются как дискретная составляющая (анализ входящего трафика через определенный интервал времени и выбор стратегии работы), так и непрерывная составляющая — период предоставления QoS-услуг по выбранному алгоритму работы СУ.

Непрерывную составляющую можно охарактеризовать периодом функционирования СУ согласно выбранной стратегии обслуживания очередей, определяемым по формуле

$$T_0 = T_n (1 + \ln(V_0)),$$

где T_n — период функционирования ОНСП;

V_0 — объем модуля ОНСП (количество нейропозиций и нейропереходов).

Время активизации одного нейроперехода соответственно определим как

$$T_a = T_n e^{-1}.$$

Здесь уместно отметить важную роль нелинейности активационной функции нейропозиций и нейропереходов в составе ОНСП, так как если бы она не обладала данным свойством или не входила в алгоритм работы каждого нейрона, то результат функционирования любой p -слойной ОНСП с весовыми матрицами $W^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, p$ для каждого слоя i сводился бы к перемножению входного вектора входных сигналов нейропозиции X на матрицу $W^{(2)}$, определяемую как

$$W^{(2)} = W^{(1)}W^{(2)} \dots W^{(p)},$$

т. е. фактически такая p -слойная НС эквивалентна однослойной с весовой матрицей единственного слоя $W^{(2)}$ и вектором выходных сигналов Y :

$$Y = XW^{(2)}.$$

Нелинейность иногда вводится и в синаптические связи нейронов. Например, взвешенную сумму входов нейрона можно определять как нелинейную функцию, т. е.

$$s = \sum_{i=1}^n x_i^2 w_i$$

или

$$s = \sum_{i=1}^n x_i x_{((i+1) \bmod n)} w_i.$$

Введение такого рода нелинейности увеличивает вычислительную мощь сети, т. е. позволяет из меньшего числа нейропозиций и нейропереходов с "нелинейными" синапсами сконструировать ОНСП, выполняющую работу обычной НС с большим числом стандартных нейронов и более сложной конфигурацией.

При реализации предложенной модели на практике упростится работа ЛПР и, соответственно, существенно повысится качество принимаемых им на основе СППР решений по управлению сетевым трафиком. СППР на базе ОНСП позволяет создать имитационную программу, моделирующую работу реальных СУ, в результате можно обучить ЛПР принимать правильные управленческие решения в тех или иных ситуациях, основываясь на решениях СППР.

Использование СППР дает возможность повысить квалификацию ЛПР непосредственно на рабочем месте. Применяя СППР для множества СППР, можно значительно улучшить качество обслуживания трафика, повысить скорость работы и доставку приоритетных пакетов из конца в конец сети.

Литература

1. Little I. D. C. Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus//Management Science, 1970. V. 16. № 8.
2. Power D. J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues//Americas Conference on Information Systems. — Long Beach, California, 2000.
3. Сукощников А. А. Методы и модели анализа сетей АСУ с поддержанием качества обслуживания/А. А. Сукощников, Д. В. Давыдов. — Вологда: ВоГТУ, 2007. — 139 с.
4. Zargham V. R., Tyman M. Neural Petri Nets//International workshop on timed Petri nets. — Torino, Italy, 1999.

