

УДК: 621.395

Эффективность принципа „выбрать максимальный вес” для расчета пропускной способности коммутатора пакетов с использованием MiMa-алгоритма

Т.Д. Ташев¹, В.В. Монов¹, П.И. Петров²

¹Институт информационных и коммуникационных технологий, Болгарская Академия Наук, улица "Акад. Г. Бончев" блок 2, София, Болгария

²Институт физиологии растений и генетики, Болгарская Академия Наук, улица "Акад. Г. Бончев" блок 21, София, Болгария

tashotr@bas.bg, vmonov@iit.bas.bg, pivanovp@abv.bg

Аннотация

В настоящей работе описываются результаты компьютерного моделирования пропускной способности пакетного коммутатора с использованием MiMa-алгоритма. Исследуется версия MiMa-алгоритма с выбором исходного элемента «min-min» по сравнению с оригинальной версией алгоритма «max-max». Определена вычислительная сложность получения бесконфликтного расписания для коммутации. Проведено сравнение полученных результатов для неравномерно распределенного входящего трафика с результатами моделирования для оригинального варианта выбора. Сделан вывод о целесообразности принципа „выбрать максимальный вес”, который заложен в основе исходного MiMa-алгоритма.

Ключевые слова: моделирование, пропускная способность коммутатора, MiMa-алгоритм

1. Введение

Процессы интеграции и глобализации, протекающие в мировой экономике, приводят к увеличению количества территориально-распределенных информационных сетей и систем. Появление новых технологий, таких как «интернет вещей», «умный» дом [1], «облачные» технологии и т.д., приводит к повсеместному использованию цифровых устройств – всевозможных гаджетов и средств связи, что ведет к увеличению числа потребителей информации и информационных услуг. В результате увеличивается информационный обмен, что в свою

очередь приводит к необходимости увеличения пропускной способности информационных каналов.

Пакетный коммутатор с матричным переключателем (crossbar switch node) - основной узел информационных сетей - обеспечивает высокую скорость передачи данных за счет максимального использования параллельно существующих каналов в своем коммутационном поле. Для этого блок управления коммутатора должен вычислить бесконфликтное расписание для коммутации [2]. А увеличение скорости передачи данных и числа коммуникационных каналов обуславливают актуальность темы настоящего исследования - моделирования с использованием алгоритмов вычисления бесконфликтного расписания.

2. Постановка задачи

Математически доказано, что задача для вычисления бесконфликтного расписания является NP-полной [2]. Существующие алгоритмы решения удовлетворяют этим требованиям частично [3], используя математический аппарат теории массового обслуживания [4, 5], а также генетические алгоритмы [6], матрицы-маски и др. [7].

Увеличение пропускной способности каналов связи, а также объемов коммуникационного трафика требует создания новых алгоритмов [8, 9, 10]. Первым автором был предложен новый алгоритм, названный MiMa [11]. Пропускная способность (ПС) коммутатора при работе MiMa-алгоритма стремится к 100%, однако наблюдается „дребезжание” ПС [12]. Возникает вопрос нельзя ли модифицировать MiMa-алгоритм, чтобы получить более „гладкий” ход его ПС, а также увеличения "крутизны" ПС.

Мы исследовали ПС для версии MiMa-алгоритма с новым выбором исходного элемента (min-min) по сравнению с первой версией алгоритма (max-max) при равномерно распределенном входящем трафике [13]. Оригинальная версия алгоритма (использующая принципа „выбрать максимальный вес”) показала лучшие результаты. В этой работе мы проверили эффективность принципа „выбрать максимальный вес” - какой из двух указанных выше вариантов лучше по ПС и времени вычисления - при неравномерно распределенном входящем трафике.

3. Входные условия

В этой работе мы провели компьютерное моделирование ПС с использованием модели трафика Чанг-а [14]. Он определяется матрицей заявок на коммутацию $T_{(k \times k)}^i$. Имеем семейство шаблонов, которые обозначим как Bez-1, ..., Bez-i, ... Каждый шаблон определяет матрицу для заданного количества входов/выходов коммутационного поля $(2 \times 2), (3 \times 3), \dots$. Обозначение Bez-i используется для трафика типа T^i . Индекс i связан с величиной входного буфера.

Формула (1) показывает фамилию Bez- i для матрицы заявок T^i модели Чанг-а. Спецификация MiMa-алгоритма выполнена с помощью аппарата Обобщенных сетей (ОС) [15]. MiMa-алгоритм описан формальными средствами ОС в [11]. Бесконфликтное расписание получится в виде ряда "бесконфликтных" матриц Q^m , чья сумма равна матрице T .

$$T_{(2 \times 2)}^i = \begin{bmatrix} 0 & i \\ i & 0 \end{bmatrix}, T_{(3 \times 3)}^i = \begin{bmatrix} 0 & i & i \\ i & 0 & i \\ i & i & 0 \end{bmatrix}, \dots, T_{(k \times k)}^i = \begin{bmatrix} 0 & \dots & i \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ i & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Сущность алгоритма задана характеристической функцией $\Phi 7$ перехода $Y 5$ и характеристической функцией $\Phi 11$ перехода $Y 8$ [11]. В оригинале MiMa-алгоритм выбирает элемент с максимальными „весами конфликтов” по выходу ($\Phi 7$) и по входу ($\Phi 11$) - назовем это выбор „max-max”. Соответственно возможны 3 модификации алгоритма: выбор типа „min-min”; выбор „max-min”; выбор „min-max” (делая изменения только в $\Phi 7$ и $\Phi 11$). Ниже представлены результаты моделирования ПС для выбора типа „min-min” (на рисунках результат моделирования указан обозначением [min]).

4. Результаты расчетов

Для программирования был использован программный пакет Vfort Института прикладной математики РАН [16]. Расчеты выполнены на персональном компьютере с процессором Intel Core 2 Duo E8300 3GHz с 2 GB RAM под операционной системой MS Windows 7. Мы провели компьютерное моделирование для интервала значений (1-10) индекса i семейства шаблонов Bez.

На рис.1 показаны результаты работы алгоритма для шаблона Bez-1.

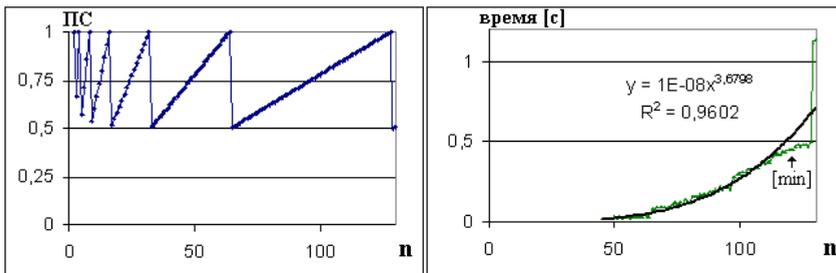


Рис. 1. ПС и время вычисления при шаблоне Bez-1 (min-min)

Моделирование выполнено для размерности коммутационного поля ($k \times k$) матричного переключателя от (3×3) до (130×130). По горизонтальной оси

координат показана размерность n матрицы $T_{(k \times k)}^i$. По вертикальной оси на левом рисунке показан результат расчета ПС (throughput) алгоритма, а на правом рисунке - время необходимое для вычисления расписания (в секундах).

На рисунке вправо гладкой линией показана аппроксимация времени степенной функцией. Корреляция хорошая ($R^2 = 0.96$). Время вычисления ряда матриц Q^m имеет порядок больше третьей степени (3,6) от n и растет линейно с увеличением индекса i - при шаблоне Bez-10 имеем $y = 1.10^{-7}x^{3.6383}$; $R^2 = 0.98$. Пропускная способность имеет кусочно-линейный характер от n , причем не зависит от индекса i шаблона. Это проверили для интервала $i \in [1, 10]$. Однако характер зависимости пропускной способности от n не оправдал ожидания о "сглаживании" ПС для сделанной модификации алгоритма.

5. Сравнение результатов расчетов

Полученные данные сравним с результатами моделирования для оригинального варианта выбора весовых коэффициентов. На рис.2 показано сравнение : влево - ПС, вправо - время, для трафика Bez-1.

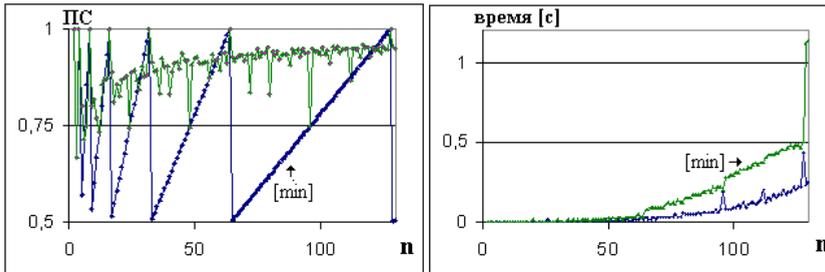


Рис. 2. Сравнение ПС и время вычисления для шаблона Bez-1 с оригинальным выбором (max-max)

Наблюдается та же особенность - равенство 100% ПС - при равенстве n степеням двойки (4, 8, ..., 128). И время при указанных значениях n практически равно. При значениях n , равных 12, 24, 48, 96, тоже наблюдается совпадение по ПС (стремится к 75%) и времени ($n = 96$). Если мы ограничились бы моделированием только для указанных выше дискретных значений, что является обычным выбором, то пришли бы к выводу что оба варианта имеют одинаковые характеристики. Но на всем интервале результаты выглядят по другому. Видно, что для нескольких значений до n в степени 2 ПС для модифицированного алгоритма даже выше. Но время для вычисления там больше.

Чтобы проверить затраты времени для вычисления расписания, мы построили график отношения времени вариантов (min-min) / (max-max). Для шаблона

Bez-1 отношение показано на рис.3 - справа. Слева показано время для оригинального алгоритма. Отсутствие данных до $n = 60$ означает, что время было меньше минимального "шага" времени, определяемого при симуляции ($15ms$).

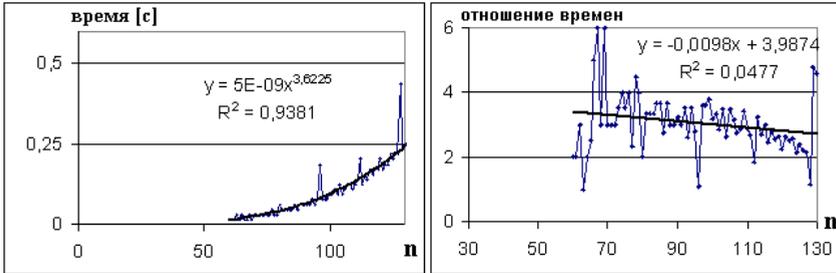


Рис. 3. Время вычисления для шаблона Bez-1 оригинала (max-max) и отношение времен

Время для вычисления при модифицированном варианте, в среднем в три (от 2 до 4) раза больше чем время оригинала (max-max). Значения, близкие к 1 (1, 1.08, 1.14) отвечают крайним значениям ПС (100% и 50%) - хорошо видны на рис.3 справа. Если построим отношение времен для „старшего” шаблона Bez-10, время уже можно принять во внимание при $n = 30$ (рис.4).

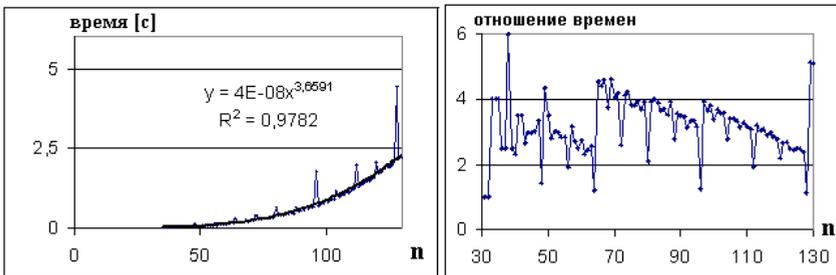


Рис. 4. Время вычисления для шаблона Bez-10 оригинала (max-max) и отношение времен

Квантование значений времени сказывается до $n = 60$, но дальше точность достаточна. Повторяющийся характер уменьшения отношения коррелирует с изменением ПС - в том же диапазоне $n = 64 - 128$ ПС линейно нарастает, скачки при $64 - 65$ и $128 - 129$. Время для расчета предложенного нами варианта в 2,3 - 4,5 раз больше, чем для исходного варианта алгоритма. Индекс шаблона увеличен, а отношение „потерь” по времени увеличилось - нет улучшения.

А отмеченная корреляция заслуживает внимания. ПС вычисляется как отношение числа бесконфликтных матриц оптимального решения ($n - 1$ в модели Чанг-а) к числу бесконфликтных матриц Q^m , полученных в результате моделирования. Когда в нашем случае ПС растет линейно с ростом n , то число бесконфликтных матриц полученного решения есть константа. Но для оригинала зависимость другая - число бесконфликтных матриц решения в среднем почти линейно зависит от n . Поэтому следует сравнить время для вычисления одной бесконфликтной матрицы Q ряда матриц Q^m . Для этого необходимо разделить время вычисления расписания на число бесконфликтных матриц решения.

Результат для шаблона Bez-1 показан на рис.5 слева. Справа показано перенормированное отношение времен – отношение времен вычисления одной бесконфликтной матрицы. Непрерывная линия на рис.7 справа – аппроксимация полученного отношения прямой (корреляция не очень удовлетворительна, $R^2 = 0.034$). В среднем можно принять отношение 2.6 (от 2.2 до 3). Это более сглаженная зависимость по сравнению с рис.4 (справа).

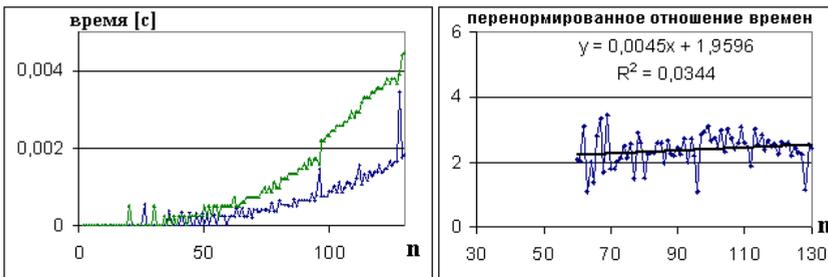


Рис. 5. Сравнение времен вычисления одного решения при Bez-1 и отношение времен

Продедаем тоже самое для данных шаблона Bez-10 (рис.6). Эти данные менее квантованы, как отмечалось.

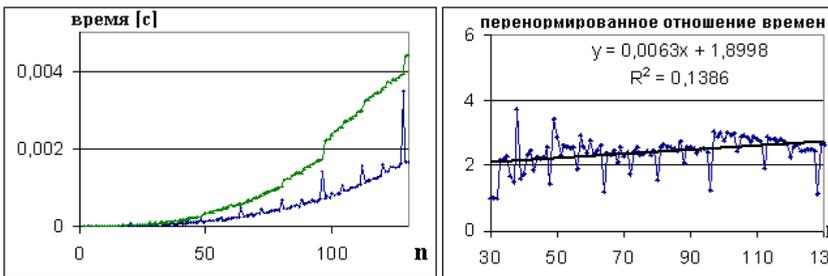


Рис. 6. Сравнение времен вычисления одного решения при Bez-10, отношение времен

В среднем можно принять для перенормированного отношения то же значение 2.6 - для основной операции (вычисления одной бесконфликтной матрицы) модифицированный алгоритм тратит в 2.6 раз больше времени. Теперь мы можем определить вычислительную сложность вариантов алгоритма. Возьмем данные для шаблона Bez-10, как более точные.

Аппроксимация степенной функцией данных от рис.6 влево дают:

- для оригинального варианта время $y = 4.10^{-9}x^{2.6819}$; $R^2 = 0.971$

- для модифицированного варианта время $y = 5.10^{-9}x^{2.8329}$; $R^2 = 0.9963$.

Из этого, с учетом пилообразного вида ПС, следует что не оправдались ожидания на улучшение характеристик MiMa-алгоритма с помощью исследованной модификации (min-min).

6. Заключение

Проведенно компьютерное моделирование пропускной способности коммуникационного узла (типа crossbar switch) с размерами коммутационного поля от (3×3) до (130×130) . Исследована версия MiMa-алгоритма для его управления с новым выбором исходного элемента (min-min) по сравнению с оригинальной версией алгоритма (max-max).

Полученные результаты для пропускной способности и времени вычисления сравнены с результатами моделирования для оригинального варианта выбора при неравномерно распределенном входящем трафике (Чанг-модели). Сделан вывод что приложение принципа „всегда выбираем максимальный вес” (max-max) в исходном MiMa-алгоритме дает лучшие результаты как для пропускной способности узла, так и по времени. Дальнейшими исследованиями этот вывод следует проверить для других видов входящего трафика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Atanasova T., Mishina A. Multiservice networks in digital houses // J. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics. 2012. V. 65. P. 14–21.
2. Chen T., Mavor J., Denyer Ph., Renshaw D. Traffic routing algorithm for serial superchip system customisation // IEE Proc.- E.part. Jan 1990. VI. 137, N.1. P. 65–73.
3. Dong Z., Rojas-Cessa R. Throughput analysis of shared-memory crosspoint buffered packet switches // Communications, IET. 2012. N.9. P. 1045–1053.
4. Вишневский В. М., Дудин А. Н. Системы массового обслуживания с коррелированными входными потоками и их применение для моделирования телекоммуникационных сетей // Автоматика и телемеханика. 2017. № 8. С. 3–59.

5. Баканова Н. Б., Вишнеvский В. М., Семенова О. В. Модель управления процессом доставки корреспонденции в крупных организационных структурах // Проблемы управления. 2007. № 5. С. 52–55.
6. Raghupathikumar D., Bommanna K. A Genetic Algorithm based Scheduling of an Input Queued Switch // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). February 2012. V.39, N.6. P. 37–42.
7. Kolchakov K. Research on the algorithm with diagonal activation for non conflict schedule in case of a large size switching matrix // Proceedings of the Int. Conference “DCCN 2011”, October 26-28, 2011. R&D Company “INT”, Moscow, Russia. 2011. P. 135–140.
8. Prasanth, N. Balasubramanian, K. Prioritized queue with round robin scheduler for buffered crossbar switches // ICTACT Journal of Communications. 2014. V. 5, N. 1. P. 890–893.
9. Баканов А.С. Аспекты интеграции систем электронного документооборота с системами поддержки принятия решений. // Электросвязь. 2015. № 1. С. 23-25.
10. Баканов А.С. Когнитивно-стилевая модель взаимодействия пользователя с информационными крупномасштабными системами. // MLSD’2017: материалы десятой международной конференции. В 2 Т. –М ИПУ РАН 2017. Под общ. редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна Т.2 – 442 с. С. 250-251
11. Tashev, T., Marinov M., Monov V., Tasheva R. Modeling of the MiMa-algorithm for crossbar switch by means of Generalized Nets // Proc. of Intelligent Systems (IS), 2016 IEEE 8th International Conference on, Sofia. P. 593–598
12. Ташев Т. Моделирование пропускной способности MiMa алгоритма для пакетного коммутатора при входящем трафике типа «горячей точки» // Материалы междунар. конф. «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» (DCCN 2013), 7–10 октября 2013. Москва, Техносфера. 2013. С. 257–264.
13. Tashev T., Monov V. Computer Simulations of a Modified MiMa-algorithm for a Crossbar Packet Switch // Proc. of the 15-th International Conference on Computer Systems and Technologies CompSysTech ’14, 27 June 2014, Ruse, Bulgaria. ACM, New York, NY, USA, 2014. P. 94–99
14. Chang C-S., Lee D-S., Jou Y-S. Load Balanced Birkhoff-von Neumann Switches. // Proceedings of IEEE Workshop on HPSR 2001, May 29-31, Dallas, USA, 2001. P. 276–280.
15. Atanassov K. Generalized Nets and System Theory. Academy Press Prof.M. Drinov, Sofia, 1997.
16. Vabishchevich P. VFort. <http://www.nomoz.org/site/629615/vfort.html> (last checked April 16, 2018).