

Моделиране на управлението на трафика с приоритети в MPLS мрежи с мрежи на Петри

Венета Алексиева

Modeling of traffic management with priorities in MPLS networks with Petri net: In this paper is presented performance of MPLS router, which depends from management of traffic priority. It is presented and analyzed model of MPLS router with timed Petri net. The model's analysis gives the right definition of priority for each traffic class and its dividing in queues with proper length. This guarantee that packets will not discarded and time, spent for waiting in the queue will be minimized.

Key words: MPLS, Petri net.

ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременните телекомуникационни технологии зависят от необходимостта да се предават различни видове чувствителна на закъснения информация по едни и същи канали за връзка, като им бъде осигурено зададено качество на обслужване. При осигуряване на услуги, в които критичният параметър е времето, нараства значимостта на QoS-базираните архитектурни модели [5] IntServ[11], DiffServ[6] и MPLS(Multi Protocol Label Switching) [9]. Основната цел на QoS е да позволи въвеждане на приоритети, в това число запазване на честотната лента, контролиране на несъгласуваността на сигналите и времезадръжките, както и намаляване загубата на пакети.

В момента технологията MPLS е най-популярно решение за пренос на данни, глас и видео през една и съща инфраструктура, т.к дава възможност за управление на трафика чрез приоритети, позволява прилагане на бързи и автоматизирани решения за възстановяване на мрежата след инциденти и реализира мащабируемост на маршрутизирането. Задаването на различни приоритети се прави субективно от администратора на мрежата и се базира изцяло на емпиричен опит, което не винаги е ефективно и има недостатъци при управлението на трафика:

1. При голям обем трафик пакетите в опашките се задържат неопределено дълъг срок.
2. Ако количеството данни стане твърде голямо, се препълват даже опашки с ниска стойност на приоритета, а пакетите се отхвърлят. В резултат възниква голямо натрупване на пакети, изпратени повторно.

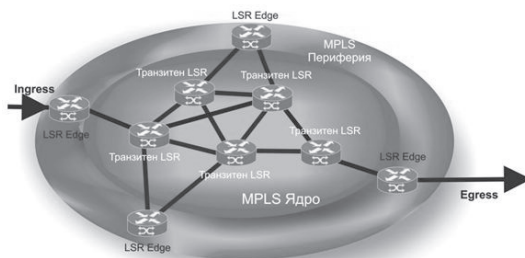
Постигането на максимална пропускателна способност на MPLS маршрутизатор зависи от правилното определяне на приоритетите за отделните класове трафик и разпределянето им в подходящи по дължина опашки, така че пакети да не бъдат отхвърляни.

Изследването на редица характеристики на поведението на MPLS мрежи при управление на приоритетите за различните видове трафик, като приложимост и производителност, без необходимостта от изграждане на реална система се постига чрез прилагане на ефективни модели, които позволяват изследването на елементите на мрежата и тяхната функционалност с цел повишаване на качеството на услугите.

Мрежите на Петри [7] предлагат представяне на постъпкови процеси, съдържащи избор, итерация и паралелно изпълнение (каквито са процесите в областта на телекомуникациите). Те имат точна математическа дефиниция на семантиката на изпълнението си, и са с добре разработена математическа теория за анализ на процесите, което ги прави изключително подходящи за моделиране на процеса на управление на трафика с различен приоритет в MPLS маршрутизаторите.

СЪЩНОСТ НА MPLS ТЕХНОЛОГИЯТА И УПРАВЛЕНИЕТО С ПРИОРИТЕТИ

Примерен MPLS домейн е представен на фиг.1. При MPLS се използват етикети, които се поставят на пакетите при влизане в MPLS домейна и чрез тях се реализира маршрутизиране на пакетите, вместо оригиналните им заглавни части. Маршрутът се задава само веднъж - при постъпване на пакета в MPLS домейна. Мрежовите възли по маршрута не вземат никакви решения за маршрутизиране. Преди да бъде препратен даден пакет, съответният Label Switch Router (LSR) променя етикета в такъв, който да бъде използван от следващия LSR. Ако даден LSR е първи в маршрута на определен пакет, то той се нарича ingress LSR, а ако е последен – egress LSR. Тези определения се дават в зависимост от посоката на трафика, т.е. един LSR може да бъде ingress за даден поток, но същевременно egress за друг.



Фиг. 1 – MPLS домейн

За съответния трафик има 8 нива на приоритет, като 0 е най-висок и 7 е най-нисък. Трафикът по даден маршрут има две стойности за приоритет – приоритет при установяване и приоритет за задържане. Приоритетът при установяване контролира достъпа до ресурсите по време на установяването на маршрута, а приоритетът за задържане контролира достъпа до тези ресурси за вече установени маршрути. Ако по време на изграждане на маршрут ресурсите са недостатъчни за момента, приоритетът при установяване на този маршрут се сравнява с приоритетите за задържане на маршрутите, използващи тези ресурси. Това се прави с цел да се определи дали новият маршрут може да присвои някои от съществуващите маршрути и да контролира ресурсите им. По-ниско приоритетния трафик изчаква в опашките на маршрутизаторите, а след преплъването им бива отхвърлен.



Фиг. 2 – Класифициране на трафика от MPLS маршрутизатора по приоритети

Постъпването на трафика в ingress LSR е представено на фиг. 2. Той трябва да бъде класифициран и разпределен в съответната опашка. При IntServ тази класификация на трафика става по потоци (броят на опашките е неограничен), при DiffServ – по класове, докато при MPLS се използват приоритети. Потоците постъпват в ingress LSR, класифицират се по приоритети и се подреждат в съответната опашка, за да бъдат изпратени по маршрута, към който принадлежат.

ФОРМУЛИРОВКА НА ЗАДАЧАТА

Целта на настоящото представяне на управлението на трафика с приоритети в MPLS маршрутизатор е да се анализира производителността на маршрутизатора, като се цели:

1. минимизиране на вероятността за блокировка на пакети;
2. предаването на максимално количество пакети за единица време през тях;
3. минимизиране времето за изчакване на пакетите.

Постигането едновременно на тези три цели води към проблеми с комбинаторна сложност на решението [2]. Съществуват решения за постигане на част от целите - PIM, RRM, iSLIP, BvN [3, 4, 10], но това са решения, ориентирани към комутатори, но не и към маршрутизатори. Като формални средства при описанието и изследването на характеристиките на комутаторите се използват клетъчни автомати, невронни мрежи и др. Настоящото представяне на управлението на трафика с приоритети в MPLS маршрутизатор използва апарата на мрежи на Петри, които са мощно съвременно формално средство за моделиране на паралелни процеси.

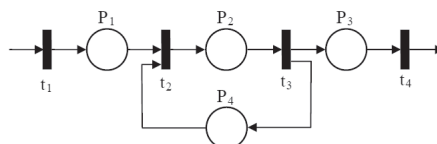
Моделирането на обслужващ елемент от телекомуникационна система може да се представи най-общо с мрежа на Петри, показана на фиг.3. Постъпващият кадър в комутатор или постъпващият пакет в маршрутизатор за това представяне са заявки, които трябва да бъдат обслужени от комуникационния елемент на мрежата.

Състоянията, в които може да се намира системата са:

- P1 – наличие на заявка, която изчаква;
- P2 – обслужване на заявка;
- P3 – заявката е обслужена;
- P4 – системата чака заявка.

Събитията, които могат да настъпят се изобразяват като преходи и са:

- t1 – пристига заявка;
- t2 – заявката започва да се обслужва;
- t3 – системата завършва обслужването;
- t4 – заявката се отправя.



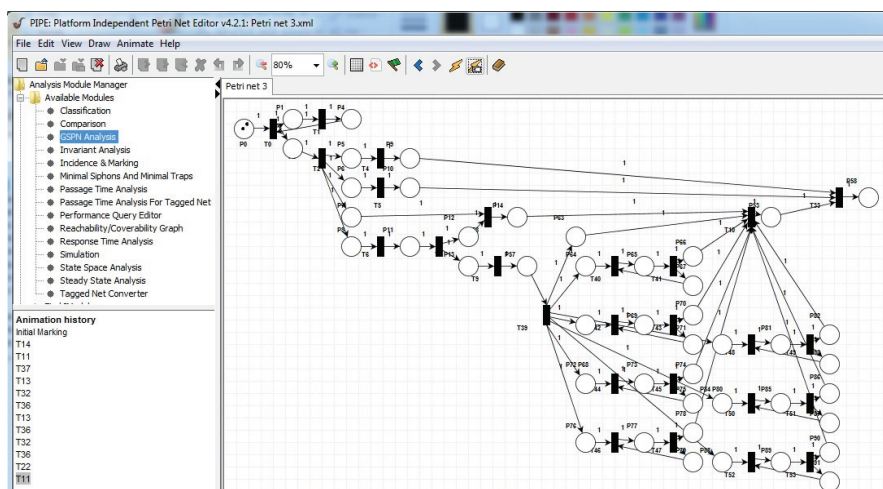
Фиг. 3 – Модел на обслужващ елемент от телекомуникационна система

В този обобщен пример не се представя ролята на времето, затова за реализацията на управлението на трафика в MPLS мрежи, управляван с приоритети, се използват две различни мрежи на Петри: с времеви интервали и стохастична мрежа на Петри.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И РЕЗУЛТАТИ

В настоящото изследване за реализация на модела с мрежа на Петри е използван продукта PIPEv4.2.1 [8]. Процесът на управление на трафика в MPLS маршрутизатора, който схематично е показан на фиг.2, е моделиран с мрежата на Петри, визуализирана на фиг.4. Капацитетът на всички дъги е равен на единица. Капацитетът на всички позиции е равен на единица, с изключение на осемте елемента, представящи опашките по приоритети, чиито капацитет се променя за целите на изследването. Приоритети на позициите и преходите не са нужни.

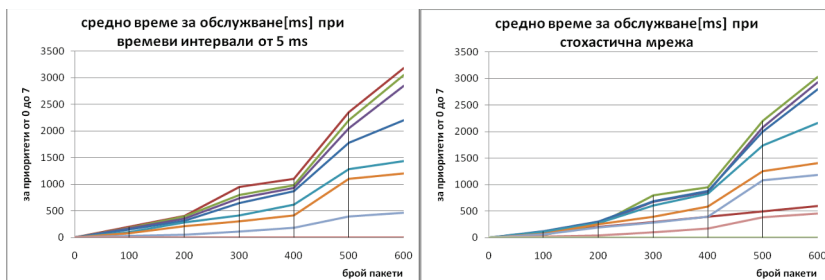
Предложеният модел е с последователно изпълнение – в един времеви интервал сработва само един преход, но задачата позволява паралелизъм, тъй като обработването на пакети от не-MPLS трафик (за които се прави проверка в маршрутизиращата таблица) може да се извършва едновременно с обработката на пакети от MPLS трафик (за които се прави проверка в етикетната таблица). Анализирани са два варианта на представения модел - с времеви интервали (настроени за 5ms) и стохастична мрежа на Петри.



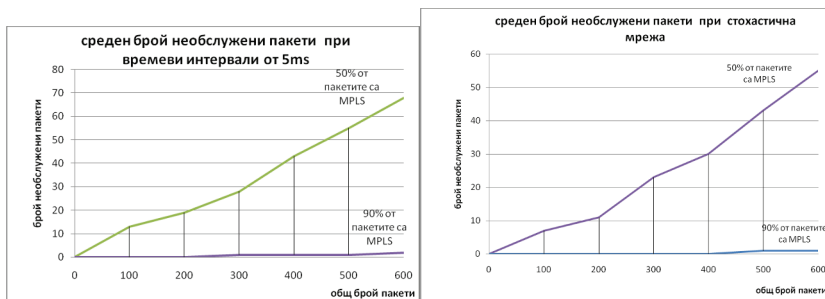
Фиг. 4 – Модел на управлението на трафика с приоритети в MPLS маршрутизатор

Изследването показва, че за случая на разнородни заявки на входа, при представения модел заявките с по-нисък приоритет се обработват със забавяне спрямо по-високоприоритетните заявки, което води до запълване на опашките за тези приоритети и загуба на пакети.

Средното време за обслужване на пакети с тези приоритети е представено на фиг.5 вляво, докато на фиг.5 вдясно може да се наблюдава, че моделът със стохастична мрежа на Петри дава по-добри показатели по отношение на минимизиране на времето за изчакване на пакетите, отколкото моделът с времеви интервали. И в двата случая трябва да се има предвид, че в реална ситуация различните видове трафик не постъпват равномерно на входа на маршрутизатора. По-голямо задържане на пакети в опашките се получава при равномерност на трафика с различен приоритет, докато модела решава оптимално задачата при максимално натоварване със заявки с нулев приоритет, т.к. те се обслужват без изчакване.



Фиг. 5 – Средно време за обслужване на пакети с различен приоритет в MPLS маршрутизатор



Фиг. 6 – Брой отпаднали пакети в MPLS маршрутизатор

При 50% запълване на пропускателната способност от друг трафик, различен от MPLS, опашките по приоритети се препълват и възниква загуба на пакети. Това 50% запълване е получено чрез използването на вградения в пакета генератор на случайни числа. В общия случай при така представения модел очакваното приоритетно обслужване на MPLS трафика не се получава. Моделът отговаря на реална ситуация при общ MPLS трафик (от всички приоритети), заемащ над 90% от пакетите на входа. Сравнение на брой отпаднали пакети (необслужени заявки) в тези случаи е показано на фиг.6 – вляво за мрежа с времеви интервали, а вдясно – за стохастична мрежа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е представен модел на управление на трафика чрез приоритети в MPLS маршрутизатор чрез мрежа на Петри с времеви интервали и стохастична мрежа на Петри. Чрез характеристикните функции в модела са заложили възможности за изчисляване на пропускателната способност, дължината на отделните опашки, средния брой пакети предавани без загуба. Изследването на модела ще доведе до правилното определяне на приоритетите за отделните класове трафик и разпределянето им в подходящи по дължина опашки, така че пакети да не бъдат отхвърляни.

Като насоки за бъдеща работа могат да бъдат разгледани модели с обобщени мрежи [1], което би довело до опростяване на модела, т.к. при тях практически липсват ограничения за характеристиките на ядрата. Така създадените модели, използващи мрежи на Петри, ще могат да се съпоставят с модел със същата функционалност, използващ обобщени мрежи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Atanassov K., On Generalized Nets Theory. "Prof. M. Drinov" Academic Publishing House, Sofia, 2007.
- [2] Babiarez, J., K. Chan, F. Baker. Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes. 2006, RFC 4594.
- [3] Elhanany I., Kahane M. &. Packet scheduling in next-generation multiterabit networks. Computer, 2001 April, pp.104-106.
- [4] Gupta P., McKeown N. Designing and Implementing a Fast Crossbar Scheduler. IEEE Micro, Jan.-Feb. 1999, pp.20-28.
- [5] Koponen, T., M. Chawla, B. Chun, A. Ermolinskiy, K. H. Kim, S. Shenker, I. Stoica. A data-oriented (and beyond) network architecture. // SIGCOMM Computer Communication Review, 2007, vol. 37, issue 4.
- [6] Li, X., M. Hamdi, "On scheduling optical packet switches with reconfiguration delay", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Sept. 2003, vol. 21, issue 7, pp.1156–1164.
- [7] Peterson J., Petri Net Theory and the Modeling of Systems. Prentice Hall, 1981.
- [8] PIPE, <http://pipe2.sourceforge.net/>
- [9] Rosen, E., A. Viswanathan, R. Callon. Multiprotocol Label Switching Architecture. 2001, RFC3031.
- [10] Sayeed, Al C., Matrawy A. Guaranteed Maximal Matching for Input Buffered Crossbar Switches. Proc. of the 4th Annual Communication Networks and Services Research Conference (CNSR'06) 24-25 May 2006, pp. v- ix. ISBN: 0-7695-2578-4.
- [11] Shenker, S., J. Wroclawski. General Characterization Parameters for Integrated Service Network Elements. 1997, RFC2215.

За контакти:

гл. ас. инж. Венета Панайотова Алексиева, Катедра "Компютърни системи и технологии", Технически университет Варна, тел.: 052-383 439, e-mail: VAleksieva@tu-varna.bg

Докладът е рецензиран.