

АНАЛИЗ НА МЕХАНИЗМИТЕ В DOCSIS СТАНДАРТ ЗА БАЛАНС НА АСИМЕТРИЯТА В ПРОПУСКАНАТА ЧЕСТОТНА ЛЕНТА В КАБЕЛНА ТЕЛЕВИЗИОННА МРЕЖА**ANALYSIS OF THE MECHANISMS IN DOCSIS STANDARD FOR BALANCING THE BANDWIDTH ASYMMETRY IN CABLE TELEVISION NETWORK****Красен Ангелов***

Технически университет – Габрово

Ивелина Балабанова**

Технически университет – Габрово

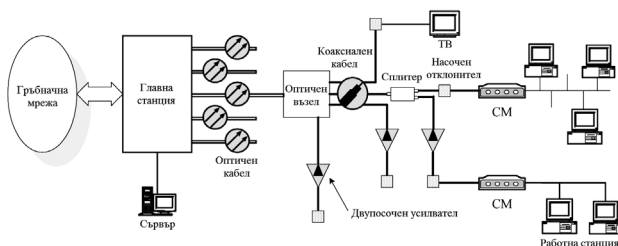
Статията е постъпила на 13.03.2014 г.; приета за отпечатване на 21.03. 2014 г.

Abstract

Since the high bandwidth and popular usage are the characteristics of cable television network, it becomes one of the main solutions for residential network. The cable television network is a kind of asymmetric bandwidth architecture, which generates certain performance issues. This paper discusses the issues stemmed from asymmetric bandwidth. It briefly introduces Data over Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) standard, which is the most popular standard for cable television network today. The rest of the paper discusses the operations and mechanisms in DOCSIS that solve those performance issues and some other possible improvements.

Keywords: cable television network, hybrid fiber-coaxial network, asymmetric bandwidth, DOCSIS protocol, TCP/IP protocol.**1. ВЪВЕДЕНИЕ**

В съвременен план мултимедийните услуги рязко нарастват и изискват изключително високо качество на услугата (QoS). За съжаление кабелните телевизионни мрежи не винаги може да задоволят тези изисквания. Това налага да се търсят адекватни решения. Съгласно направено проучване в [16], около 13 милиона кабелни модеми (CM) са били в употреба през 2002 г. Само до края на 2007 година тази цифра е нараснала до 42 милиона, а до 2020 година се очаква нарастване до 100 милиона.

**Фиг. 1.** Архитектура на кабелната мрежа

На фиг. 1 е показана архитектурата на кабелна телевизионна (КТВМ) мрежа [1.10]:

– Комбинирана дървовидно-радиална топология – кабелната мрежа се представя като дървовидна топология. Главната станция (ГС) служи за център, от който се разпространяват връзки към абонатите чрез оптични възли; цялата мрежа е свързана чрез оптични и коаксиални кабели – хибридна оптично-коаксиална мрежа (HFC). Оптичните кабели се използват за връзка между главната станция и оптич-

ните възли, а коаксиалните кабели – за връзка между оптичните възли и абонатните кабелни модеми.

- Голямо количество абонати – кабелната мрежа се състои от множество оптични възли, всеки от които може да обслужва приблизително 2000 абоната. Това означава, че може да бъдат едновременно активни хиляди абонати в мрежата.
- Голямо времезакъснение при разпространение на сигнала – максималното разстояние между ГС и най-далечния CM може да достигне до 100km. Поради това времезакъснението при разпространение може да бъде доста голямо, обикновено до 0,8ms [6].
- Асиметрия в ширината на пропусканата честотна лента в правия (downstream) и обратния (upstream) канал – поради наложеното честотно разпределение на спектъра, КТВМ е асиметрична. Общата пропускана честотна лента в правия канал е много по-голяма от тази на обратния канал.

Тъй като КТВМ има уникални характеристики, се налага да се използва специализиран протокол за контрол на мрежата. Най-популярният протокол в КТВМ днес е DOCSIS. Оригиналната версия на DOCSIS 1.0 [8] е предложена през Март 1997г.; две години по-късно се появява DOCSIS 1.1 [7]; през 2001 г. е въведен DOCSIS 2.0; през Август 2006г. – DOCSIS 3.0 [5], а текущо се работи върху DOCSIS 3.1 [4].

Голяма част от подобренията в DOCSIS целят да се подобри несъвършенството дължащо се на асиметричната ширина на честотната лента.

* Тел.: +35966827325; e-mail: kkangelov@tugab.bg

** Тел.: +35966827414; e-mail: ivstoeva@abv.bg

Таблица 1. Основни характеристики на DOCSIS 1.0/1.1/2.0/3.0 във физическия слой

		DOCSIS 1.0/1.1	DOCSIS 2.0	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1
Обратен канал	Честотен диапазон	5 – 42 MHz	5 – 42 MHz	5 – 42 (85) MHz	5 – 42 (65,85,117,204) MHz
	Формат на модулация	QPSK, 16-QAM	QPSK, 8- QAM, 16- QAM, 32- QAM,64- QAM и 128-QAM	QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM и 128-QAM TCM	OFDMA канал с BPSK, QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM, 512-QAM, 1024-QAM, 2048-QAM и 4096-QAM
	Символна скорост (DOCSIS 1.0/1.1) / Модулационна скорост (DOCSIS 2.0/3.0)	160, 320, 640, 1280 и 2560 ksym/s	TDMA: 160, 320 640, 1280, 2560 и 5120 ksym/s S-CDMA: 1280, 2560 и 5120 ksym/s	TDMA: 160, 320 и 640 ksym/sec S-CDMA: 1280, 2560 и 5120 ksym/s	TDMA: 160, 320 и 640 ksym/s S-CDMA: 1280, 2560 и 5120 ksym/s
	Ширина на канала, kHz	200, 400, 800, 1600 и 3200	TDMA: 200, 400, 800, 1600, 3200 и 6400 S-CDMA: 1600, 3200 и 6400	TDMA: 200, 400, 800 S-CDMA: 1600, 3200 и 6400	OFDM 2k: 10000, ..., 96000 OFDM 8k: 6400, ..., 96000
Прав канал	Честота	88 – 862 MHz	88 – 862 MHz	54 (108) – 1002 MHz	54 (108,258) – 1002 (1218,1794) MHz
	Формат на модулация	64-QAM и 256-QAM	64-QAM и 256-QAM	64-QAM, 256-QAM и 1024-QAM	OFDMA канал с BPSK, QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM, 512-QAM, 1024-QAM, 2048-QAM и 4096-QAM
	Символна скорост	5.056941Msym/s 5.360537Msym/s	5.056941Msym/sec 5.360537Msym/s	5.056941 Msym/s 5.360537 Msym/	TDMA: 160, 320 и 640 ksym/s S-CDMA: 1280, 2560 и 5120 ksym/s
	Ширина на канала	6 MHz	6 MHz	6 MHz, 8MHz	24 MHz ... 192 MHz

В КТВМ ширината на обратния канал е относително по-малка от ширината на правия канал, което води до проблеми в доставката на симетрични услуги, отказ на TCP/IP връзки, наличие на множество колизии при заявките за пакети и др. Тези проблеми значително влошават производителността на мрежата.

2. DOCSIS-ПРОТОКОЛ

КТВМ съществуват от десетилетия. Първоначално са създадени да пренасят аналогови ТВ програми, а в последствие – да предават и цифрови данни. Първоначално е липсвал отворен стандарт за КТВМ. Всеки оператор е създавал свои частни протоколи, което е довело до несъвместимост между различното оборудване. Този проблем се решава с появата на DOCSIS 1.0 през 1999г. По-късно DOCSIS 1.1 е разширен със следните нови възможности [14]:

- Качество на услугата –QoS;
- IP-мултикаст и сигурност;
- Поддръжка на операциите.

В DOCSIS 2.0 (Декември 2001г.) се въвежда нов механизъм, наречен Advanced PHY (физически слой), подобряващ модулацията във физическия слой [15].

DOCSIS 3.0 (Август 2006г.) има за цел значително да повиши скоростта на предаване по прав и обратен канал и въвежда поддръжка за IPv6 [5].

Бъдещата платформа DOCSIS 3.1 се очаква да поддържа възможности до 10Gbps в правия канал и 1Gbps в обратния канал при използване на 4096-QAM. Тази нова спецификация ще използва канални отстояния с ширина 6MHz и 8MHz вместо по-малките 20kHz и 50kHz отстояния на OFDM подносещите; те ще могат да бъдат формирани в спектрален блок, който може да бъде с ширина до 200MHz [3].

На фиг. 2 е показан протоколния стек на DOCSIS кабелен модем.

2.1. ФИЗИЧЕСКИ СЛОЙ (DOCSIS PHY)

Взимайки под внимание нуждата от съвместимост, DOCSIS използва същия честотен спектър както класическите КТВМ. Тъй като диапазона на обратния канал е от 5 до 42 MHz, а на правия – от 88 до 862 MHz, това води до асиметрия в ширината на честотните ленти в КТВМ. Обратния канал е в нискочестотната част от спектъра и е по-уязвим на шум в сравнение с правия канал. За да се увеличи шумоустойчивостта се прави компромис, свързан с използване на модулация с по-ниска символна скорост като QPSK и 16-QAM. Това прави ширината на обратния канал твърде недостатъчна.

В DOCSIS 1.0/1.1 се използват два метода за контрол на достъпа до средата: FDMA (честотно мултиплексване) и TDMA (времево мултиплексване). За осигуряване на множествения достъп FDMA разделя спектъра на няколко канала, докато TDMA разделя радиочестотния канал на множество времеви слотове.

В DOCSIS 2.0 се въвежда Advanced PHY. Той използва синхронно кодово мултиплексване (S-CDMA) за контрол на достъпа до средата. S-CDMA използва различни ортогонални кодове за разпознаване на данните и позволява на кабелните модеми да достигат до средата едновременно по един и същи радиочестотен канал в рамките на TDMA времеви слот. Предимствата на S-CDMA са [6,14]:

- По-голям капацитет на обратния канал;
- По-добра радиочестотна ефективност;
- Подобрена устойчивост срещу интерференция.

В Таблица 1 са дадени основните характеристики на DOCSIS 1.0/1.1/2.0/3.0/3.1 в спецификацията на физическия слой.

2.2. КАНАЛЕН СЛОЙ (DOCSIS MAC)

В DOCSIS главната станция, наречена още CMTS (Cable Modem Terminal System), координира всички обратни/прави канали и кабелни модеми. За целите на предаването обратните/правите канали в кабелната мрежа се разделят на множество мини-слотове с еднакъв размер. CMTS назначава мини-слотовете в обратния канал като CS (Contention Slot) или DS (Data Slot). CS-слотовете пренасят заявките на модемите за честотна



Фиг. 2. Протоколен стек на DOCSIS кабелен модем

лента, докато DS-слотовете пренасят данните. Чрез получаване на картата на разпределение на честотната лента в обратния канал (MAP), периодично предавана от CMTS по правия канал, кабелните модеми научават за назначението на всеки мини-слот в обратния канал.

На фиг. 3 е показан работния поток на DOCSIS протокола.

- 1) В момент t_1 , CMTS изпраща MAP1. MAP1 описва назначението на всеки мини-слот в обратния канал по време на $t_3 - t_8$.
- 2) Когато MAP1 достигне до t_2 , CM научава за разпределението на CS-слотовете в обратния канал. Ако CM желае да предава данни, той ще използва CRA алгоритъм (Collision Resolution Algorithm) за да определи кога ще може да изпрати заявка. Заявката се изпраща в момент t_4 .
- 3) CMTS приема заявката в момент t_5 , след което съставя график по всички приети заявки и изпраща MAP2 в момент t_6 .
- 4) CM приема MAP2 в момент t_7 и разбира за разпределението на мини-слотовете по време на $t_8 - t_{11}$.
- 5) В t_9 , CM е научил, че неговите DS-слотове, резервирани от CMTS пристигат и предава данните си в тези DS-слотове. Накрая PDU данните (Protocol Data Unit) достигат до CMTS в момент t_{10} .



Фиг. 3. Работен поток по DOCSIS-протокол

В този работен поток е възможно да се получат колизии когато няколко CM изпратят заявки към CMTS по едно и също време. Съответно, DOCSIS протоколът използва TBEB алгоритъм (Truncation Binary Exponential Back-off) [13], подобен на този, използван в Ethernet за разрешаване на колизиите. Първо, TBEB задава размер на back-off прозореца равен на 2^{DBS} . DBS (Data Back-off Start) параметърът определя началния размер на back-off прозореца и се дава от CMTS периодично чрез MAP-таблиците. В допълнение се използва и DBE параметър (Data Back-off End). Той определя максималния размер на back-off прозореца и се назначава по същия начин като DBS. След конфигурирането на началния размер на back-off прозореца, CM избира случайна стойност в диапазона от 0 до $(2^{DBS} - 1)$. Това означава, че CM трябва да изчака за избран брой модеми преди да може отново да изпрати заявка.

Ако се засече колизия и размера на back-off прозореца е по-малък от максималния размер 2^{DBS} , CM задава нов размер на back-off прозореца чрез умножаване на оригиналната стойност по 2. След това CM избира нова случайна стойност в рамките на предефинирания диапазон и изчаква. Процесът продължава докато заявката се предаде успешно или броят опити не надхвърли предварително зададена максимална стойност.

3. ПРОБЛЕМИ

Асиметричната ширина на честотната лента в кабелните телевизионни мрежи може да доведе до значителни проблеми в производителността:

3.1. ОГРАНИЧЕНИЯ В ПОДДРЪЖКАТА НА СИМЕТРИЧНИ УСЛУГИ

Поради недостатъчната ширина на обратния канал, кабелната мрежа трудно може да поддържа голямо количество от симетрични услуги като например IP-телефония. Освен това, за бизнес-компания ако услугите им са хоствани от страната на CM, то за техните клиенти ще е необходимо дълго време за да свалят файлове (напр. програмни менюта или упътвания). Това е важен фактор, който принуждава компаниите да потърсят решение за кабелната си мрежа.

3.2. ОГРАНИЧЕНИЯ НА БРОЯ TCP/IP ВРЪЗКИ

TCP протокола използва подхода на т.нар „тройно ръкостискане“ за по-надеждна комуникация. В TCP връзката, след приемане на пакет, приемника връща потвърждаващ (ACK) пакет към изпращача за потвърждение. Само след като изпращача е получил ACK-пакет, пакетите с данни, изчакващи в неговата опашка, може да бъдат предадени. Ако изпращача не получи ACK-пакет навреме, съответните пакети трябва да бъдат препредадени и всички пакети в опашката на изпращача ще бъдат забавени. Този ефект ще доведе до спадане и срив на производителността.

Прилагането на TCP приложения в асиметричната мрежа може да доведе до ниска степен на оползотворяване на правия канал, тъй като ACK-пакетите в правия канал се забавят. Този проблем детайлно е разгледан в [11]. Там се дефинира нормализирано отношение k , което се задава като отношението на времето за предаване на ACK-пакет в обратния канал, разделено на времето за предаване на информационен пакет в правия канал. Ако се използва правило „спри и изчакай“, максималната скорост на предаване по правия канал в страната на изпращача ще бъде $1/k$ пъти от ширината на пропусканата честотна лента. Напр. допускайки, че размерът на информационния пакет е 368 байта, размерът на ACK пакета е 40 байта, пропускателната способност на обратния канал е 320 kbps, а на правия канал – 43Mbps, стойността на k ще бъде 14,6. Следователно, максималната скорост на предаване в правия канал ще бъде около 2,95Mbps (43Mbps/14,6).

Трябва да се отбележи, че в допълнение на ACK-пакетите, има и други типове пакети, които се предават в обратния канал. Тези пакети също заемат от честотната лента на обратния канал, което пречи на ACK-пакетите да бъдат изпратени обратно навреме. Следователно, пропускателната способност на обратния канал ще може да поддържа само ограничен брой TCP връзки. Когато броят кабелни модеми нарасне, някои кабелни модеми няма да могат да установят TCP връзки поради недостатъчната пропускателна способност на обратния канал.

3.3. ЧЕСТИ КОЛИЗИИ МЕЖДУ ПАКЕТИ СЪС ЗАЯВКИ

Когато CM иска да предаде данни, той трябва първо да изпрати съобщение със заявка чрез CS-слотовете за да прикани CMTS да резервира определена честотна лента. Тъй като ширината на пропусканата честотна лента на обратния канал е ограничена и оскъдна, броят

на кабелните модеми ще бъде също ограничен. Ако голяма част от кабелните модеми изпратят едновременно заявки, обратния канал няма да може да осигури достатъчно всички кабелни модеми, което ще доведе до чести колизии. Твърде големия брой колизии ще увеличи натоварването на мрежата и ще влоши значително производителността ѝ.

4. РЕШЕНИЯ

В DOCSIS протокола са налични няколко подобряващи механизми от PHY и MAC слоевете, свързани с решаване на проблема с асиметрията на пропускателната честотна лента в кабелната телевизионна мрежа:

4.1. УВЕЛИЧАВАНЕ НА ПРОПУСКАТЕЛНАТА СПОСОБНОСТ НА ОБРАТНИЯ КАНАЛ

Увеличаването на пропускателната способност на обратния канал е ефективен начин за решаване на проблема с асиметрията на честотната лента. Възможни са два подхода. Първият подход е да се реаранжират честотите в спектъра на обратния/правия канал. Това ще наложи модификация на кабелните устройства и ще доведе до нисък процент на ефективност от направените разходи. Другото по-изпълнимо решение е да се използват по-добри методи за контрол на достъпа до средата като S-CDMA.

В DOCSIS 2.0 се въвежда Advanced PHY за подобряване на ефективността от модулацията. Той включва нов метод за контрол на достъпа до средата (S-CDMA), който подобрява модулационната скорост и шумоустойчивостта. Напр., в обратен канал с ширина 3,2MHz използвайки DOCSIS 1.0/1.1 TDMA режим ще може да се осигури пропускателна способност от 10,24Mbps, докато при използване на DOCSIS 2.0 S-CDMA пропускателна способност ще нарасне до 17,92Mbps. Advance PHY може да осигури по-голяма пропускателна способност в същия честотен спектър в сравнение с TDMA.

4.2. НАМАЛЯВАНЕ НА НАТОВАРВАНЕТО ПРИ ПРЕДАВАНЕ

Компресията или обединяването на заглавията на пакетите може да понижи изискванията към пропускателната способност. В някои приложения като VoIP, веднъж след като е установена връзката цели стойности от заглавните полета не се променят отново. В тези случаи може да се приложи компресия на заглавните полета на тези пакети и да се освободи честотна лента. Освен това малките пакети, които идват в последователност, може да се обединят в по-голям пакет за да се намали количеството заглавни полета.

– PSH (Payload Header Suppression) – от DOCSIS 1.1 PHS механизъм се прилага за редуциране на натоварването. PHS се инициира от CMTS или CM. В процеса на инициализация изпращача и получателя трябва да потвърдят оригиналните заглавни полета, както и моделът на компресиране на данните. Едва след това изпращачът може да изпрати компресирани заглавни полета, а получателят да ги декомпресира в съответствие със споразумението, направено в етапа на инициализация. Взимайки VoIP за пример, PHS може да намали дължината на заглавието на пакет в обратния канал до 40 байта, а на пакет в правия канал – до 28 байта [2,6].

– Конкатенирано заглавие – механизъм на конкатенация също се поддържа в DOCSIS 1.1 и нагоре.

Той позволява на няколко MAC-рамки да бъдат конкатенирани. Всяка MAC-рамка оригинално е прикачена към PHY-заглавие. Чрез използване на този механизъм, няколко MAC-рамки може да се свържат в една по-голяма с използване само на едно PHY-заглавие. Това ще намали натоварването и ще позволи на кабелните модеми да предават повече от една MAC-рамки в благоприятните за това моменти.

4.3. ОПТИМИЗАЦИЯ НА СТЕПЕНТА НА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ОБРАТНИЯ КАНАЛ

Когато трафичното натоварване в обратния канал е голямо, остатъчната честотна лента в канала може да не успее да удовлетвори каквато и да е налична заявка и поради това да остане неизползвана. Следователно, за оптимизиране на трафичното натоварване и използване на обратния канал, основна задача се явява ефективното използване на остатъчната честотна лента в канала.

Механизмът за фрагментация е въведен с DOCSIS 1.1. Чрез използване на този механизъм, остатък от честотния ресурс на обратния канал може ефективно да се използва. Когато CMTS получи заявка от CM, а остатъчната честотна лента от обратния канал не може да отговори на изискването, CMTS ще изиска CM да фрагментира своите рамки на няколко парчета и да ги предаде едно по едно. След като са прието всички фрагментирани рамки, CMTS ги реасемблира и препредава оригиналната PDU до нейната дестинация.

4.4. ПРЕРАЗПРЕДЕЛЯНЕ НА ОБРАТНИТЕ И ПРАВИТЕ КАНАЛИ

Кабелната мрежа е многоканална архитектура и има множество обратни и прави канали. Операторите на кабелни мрежи може да настройват комбинацията от обратни/прави канали в съответствие с техните нужди за да осигурят гъвкаво различните услуги.

Тъй като кабелната мрежа е многоканална, DOCSIS-протоколът осигурява няколко комбинации от обратни/прави канали в рамките на един кабелен сегмент. Мрежовите администратори може да определят каква комбинация би трябвало да използват според техните нужди. Възможните комбинации са следните:

- 1) Един прав канал и един обратен канал за кабелен сегмент – тази конфигурация е подходяща за поддръжка на асиметрични услуги като уеб-браузинга.
- 2) Един прав канал и няколко обратни канали за кабелен сегмент – това обикновено се използва за симетрични услуги като IP-телефония.
- 3) Множество прави канали и един обратен канал за кабелен сегмент – този тип настройка е подходяща за услуги по заявка по правия канал, напр. за поточно IP-видео (видео по заявка).
- 4) Множество прави канали и множество обратни канали за кабелен сегмент – тази комбинация е подходяща за всякакъв вид услуги.

Многоканалната работа изисква въвеждане на множество контролни съобщения за редуциране на времето, загубено за предаване на информацията между каналите. В такава многоканална среда е наложително въвеждането на алгоритъм за разпределение на трафика за да се избегне небалансирано трафично натоварване, което може да доведе до лош коефициент на използваемост на честотната лента. Въпреки, че DOCSIS-прото-

кола осигурява контролни съобщения за обмяна на информация между каналите, правилата по реализацията на такива алгоритми не са специфицирани и са оставени на кабелните оператори за по-нататъшно изследване.

4.5. ПОДОБРЯВАНЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА АЛГОРИТЪМА ЗА ОТКРИВАНЕ НА КОЛИЗИИ

Добър алгоритъм за разрешаване на колизии може драстично да редуцира вероятността за колизии, както и средното време на закъснение на заявките. С цел да се подобри ефективността на този алгоритъм, някои негови параметри са запазени в DOCSIS за по-нататъшно развитие от разработчиците.

- Стратегии за разпределение на заявените мини-слотове – в DOCSIS-протокола количеството CS-слотове се назначава от CMTS в MAP. Независимо от това, DOCSIS не специфицира колко CS-слота може да се дадат в MAP. Следователно, ако се реализира алгоритъм, който динамично да може да избира броя CS-слотове, колизиите ще бъдат значително редуцирани. За съжаление, повечето производители на CMTS системи фиксират броя CS-слотове във всяка MAP карта. Съгласно направени изследвания [9,12] това не е идеалната стратегия за разпределяне на заявените мини-слотове.
- Настройки на back-off прозореца – алгоритмът за разрешаване на колизиите, използван в DOCSIS, е TBEB. В този алгоритъм има два важни параметъра – DBS и DBE. DBS параметърът дефинира началния размер на back-off прозореца, а DBE – максималния размер. DOCSIS не дефинира ясно конфигурацията на тези два параметъра и ги оставя за избор на кабелните оператори. Ако може да се настройват динамично тези два параметъра, може да се очаква по-добра мрежова производителност. Например, когато трафичното натоварване е малко, тогава двата параметъра може да бъдат настроени на по-ниска стойност за редуциране на времето на изчакване за заявените пакети. От друга страна, ако трафичното натоварване стане голямо, тези два параметъра трябва да се зададат с по-големи стойности за разпръскване на състезанията за заявки. DBS и DBE параметрите в CMST-системите също са зададени фиксирани, което позволява лесна настройка, но лоша производителност [9].

4.6. РЕДУЦИРАНЕ НА КОЛИЧЕСТВОТО ЗАЯВКИ, ПРЕНАСЯНИ ОТ CS-СЛОТОВЕТЕ

В допълнение, за подобряване на алгоритъма за разрешаване на колизии, редуцирането на количеството заявки, пренасяни от CS-слотовете, е друг начин за ефективно отбягване на колизиите. В DOCSIS-протокола са предложени няколко механизма за тази цел:

- Двоен пренос (piggyback) – този механизъм функционира по следния начин: Когато CM получи пакет и предходните пакети в неговата опашка са също готови за изпращане, CM ще въведе нова заявка за честотна лента в предходните разширени заглавни полета. По този начин заявките може да бъдат изпратени заедно с предходните пакети и така да се редуцира общия брой заявки пренасяни от CS-слотовете. Този механизъм също намалява вероятността за колизии и осигурява по-добра мрежова производителност, особено при голямо трафично натоварване [11,12].

– QoS – в зависимост от настройката на QoS параметрите като латентност, джитер и гарантирана пропускателна способност, трафиците се класифицират в различни обслужващи потоци. В DOCSIS-протокола са осигурени пет типа QoS услуги:

- 1) UGS (Unsolicited Grant Service) – предназначен за поддръжка на услуги в реално време, които изискват константна скорост (напр. VoIP). CMTS резервира периодично фиксирана част от честотната лента за UGS обслужващи потоци.
- 2) rtPS (Real-Time Polling Service) – предназначен за поддръжка на услуги в реално време, които се нуждаят периодично от променлива честотна лента (напр. MPEG видео). CMTS осигурява възможности за уникаст заявки за този тип услуга.
- 3) UGS/AD (Unsolicited Grant Service with Activity Detection) – може да осигури услуги като VoIP с потискане на мълчанието. Когато UGS/AD обслужващ поток е активен, CMTS резервира периодично фиксирано количество честотна лента за този тип услуга. Когато обслужващият поток не е активен, CMTS осигурява възможност за уникаст заявка като алтернатива. Дадено приложение може да извика отново UGS/AD чрез резервираната от CMTS възможност за заявка.
- 4) nrtPS (Non-Real-Time Pooling Service) – подходяща е за услуги, които не са в реално време (напр. широколентово FTP). За услуги от този тип, CMTS осигурява възможност за уникаст заявка по време на определен период за да избегне недоставените заявки, когато мрежата е претоварена. Обикновено осигуреният времеви период е по-малък от секунда.
- 5) Best Effort услуга – когато се използва този тип услуга, CM трябва да изпрати заявка чрез CS-слот към CMTS за осигуряване на състезателна възможност за предаване.

QoS механизмите може да редуцират количеството заявки. Например, в DOCSIS 1.0 при VoIP приложения предаването на всеки пакет с данни изисква заявка. При DOCSIS 1.1/2.0 е необходима само една заявка за да се осигури UGS услуга. След получаването на UGS услуга не са необходими повече заявки, тъй като CMTS ще резервира периодично честотна лента за това приложение. Освен това, rtPS обслужващият поток използва възможността за уникаст заявка, осигурена от CMTS, за да изпрати заявка. Следователно цялото количество заявки, пренасяни от CS-слотовете, ще бъде сравнително малко.

4.7. ОБЕДИНЯВАНЕ НА КАНАЛИ В DOCSIS 3.0/3.1

С появата си DOCSIS 3.0 въвежда няколко възможности, които значително влияят върху пропускателната способност и асиметричността на мрежата:

- Въвеждане на IPv6 – това позволява разширяване на адресното пространство и подобрява функционалните възможности.
- Въвеждане на разширен IP-мултикаст с QoS за поддръжка на IPTV приложения – използват се стандартните протоколи за да се управляват IP-видео услугите като същевременно се постига ефективно използване на лентата за осъществяване на комутируеми видео услуги. QoS е разширен така, че мрежовите претоварвания да не оказват

влияние върху качеството на видео приложенията. – Осигуряване на значително по-голяма пропускателна способност чрез обединяване на каналите (channel bonding) по прав и обратен канал. Това е възможност при която множество независими канали се обединяват в един логически канал. Минималният брой физически канали, които ще се обединяват не може да бъде по-малък от 4, а каналите не трябва да бъдат съседни. Това осигурява значително по-висока пропускателна способност по прав и обратен канал, възможност за контрол на асиметрията в пропускателните способности на правия и обратен канал и повишена надеждност. В Таблица 2 са обобщени възможните канални конфигурации в DOCSIS 3.0 и постигната пропускателна способност по прав и обратен канал.

Таблица 2. Обединяване на каналите в правия/обратния канал в DOCSIS 3.0

Конфигурация на каналите		Пропускателна способност, Mbps	
Брой прави канали, <i>m</i>	Брой обратни канали, <i>n</i>	Прав канал, $m \times 42,88 (m \times 38)$	Обратен канал, $n \times 30,72 (n \times 27)$
4	4	171,52 (152)	122,88 (108)
8	4	343,04 (304)	122,88 (108)
16	4	686,08 (608)	122,88 (108)
24	8	1029,12 (912)	245,76 (216)

Таблица 3. Предложени решения и механизми в DOCSIS протокол

Решение	Механизъм	Версия на DOCSIS			
		1.0	1.1	2.0	3.0/3.1
Увеличаване на пропускателната способност на правия канал	Advanced PHY			✓	✓
Оптимизиране на използването на обратния канал	Фрагментация		✓	✓	✓
Редуциране на служебната информация при предаване	1) Конкатенация		✓	✓	✓
	2) Payload Header Suppression (PHS)		✓	✓	✓
Преразпределяне на обратните/правите канали	Многоканалност	✓	✓	✓	✓
Подобряване на производителността на алгоритъма за разрешаване на колизии	1) Променливо количеството CS-слотове	✓	✓	✓	✓
	2) Променлива настройка на back-off прозореца	✓	✓	✓	✓
Редуциране на количеството заявки, пренасяни от CS-слотовете	1) Двоен пренос (Piggyback)	✓	✓	✓	✓
	2) QoS		✓	✓	✓
Обединяване на няколко физически обратни/прави канали в един логически	Channel bonding				✓

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Койчев, К., К. Ангелов, С. Садинов. Проектиране на интерактивни кабелни телевизионни мрежи. Изд. Експрес, Габрово, 2010.
- [2] Angelov K., An Approach to Increase the Bandwidth in Hybrid Fiber-Coaxial cable Television Networks, Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies, Vol. 4, Part 3, pp.52-65, ISSN: 1313-2539 Info Invest, Bulgaria, 2010.
- [3] Baumgartner J., Docsis 3.1 Targets 10-Gig Downstream. Light Reading Cable, 2012.
- [4] Cable Television Laboratories, Inc., Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.1, Physical Layer Specification, CM-SP-PHYv3.1-I01-131029, 2013.
- [5] Cable Television Laboratories, Inc., Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.0, Physical Layer Specification, CM-SP-PHYv3.0-I11-130808, 2013.
- [6] Cable Television Laboratories, Inc., Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 2.0, Radio Frequency Interface Specification, SP-RFIV2.0-I09-050812, 2005.
- [7] Cable Television Laboratories, Inc., Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 1.1, Radio Frequency Interface Specification, SP-RFIV1.1-I09-020830, 2002.
- [8] Cable Television Laboratories, Inc., Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 1.0, Radio Frequency Interface Specification, SP-RFI-C01-01119, 2001.
- [9] Chu, K. C., Tai, Y. G., Lee, W. T. and Chung, P. C., "A Novel Mechanism for Providing Service Differentiation over CATV Network," Computer Communications, Vol. 25, pp. 1214-1229, 2002.
- [10] Eldering C., Himayet N., Gardner F., "CATV Return Path Characterization for Reliable Communications," IEEE Communications Magazine, 1995.
- [11] Lakshman, T. V., Madhow, U. and Suter, B., "Window-based Error Recovery and Flow Control with a Slow Acknowledgement Channel: A Study of TCP/IP Performance," Proceedings of Infocom '97, 1997.
- [12] Lin, Y. D., Huang, C. Y. and Yin, W. M., "Allocation and Scheduling Algorithm for IEEE 802.14 and MCNS in Hybrid Fiber Coaxial Networks," IEEE Trans. Broadcasting, Vol. 44, p. 42735, 1998.

- [13] Lin, Y. D., Yin, W. M. and Huang, C. Y., "An Investigation Into HFC MAC Protocols: Mechanisms, Implementation, and Research Issues," IEEE Communication Surveys, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>, Third Quarter, 2000.
- [14] Rouzbeh, Y., "DOCSIS overview for DOCSIS Community Q3 2001," <http://www.cablemodem.com>, 2001.
- [15] Schwartz, M., "For More DOCSIS/2.0 Modems Gain Cable Labs/Certified/Status," <http://www.cablelabs.com/news/>, 2003.
- [16] Cable Television Laboratories, Inc., Available: <http://www.cablemodem.com/>