

9/28/2010



Povećanje propusnosti višeparičnih kablova u DSL pristupnim mrežama

Protokoli usmjeravanja u mobilnim *ad hoc* mrežama

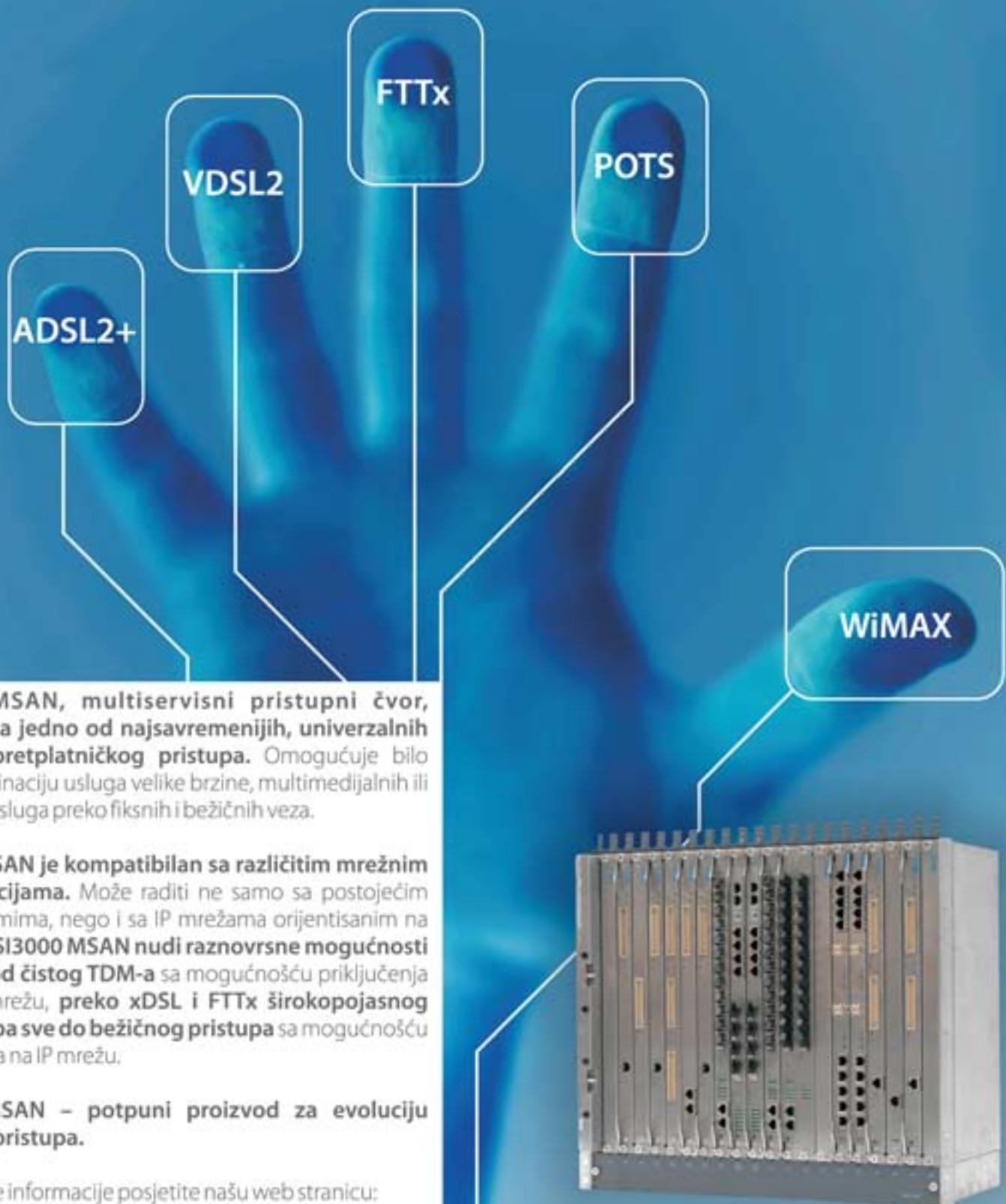
Kvalitet servisa u IP/MPLS mrežama

Problemi u realizaciji širokopojasnog pristupa s postojećom mrežom metalnih kablova i njihovo prevazilaženje

Reliability analysis of mesh telecommunication network

Trgovina spektrom

SI3000 MSAN RAZNOVRSNOST PRISTUPA



God. 9., br. 28., 2010.

Vol 9, No 28, 2010

Časopis je namijenjen stručnjacima, inžinjerima, studentima i izlazi kvartalno. Svrha časopisa je izvještavanje o istraživanju, naučnom razvoju, proizvodima i novostima iz svijeta telekomunikacija.

BOSANSKOHERCEGOVACKO
UDRUŽENJE ZA TELEKOMUNIKACIJE
SARAJEVO

Izдавач/Publisher
Bosanskohercegovačko udruženje
za telekomunikacije

Urednički odbor/Editorial Board

dr. Himzo Bajrić, dipl. ing. el.
dr. Nediljko Bilić, dipl. ing. el.
dr. Mirko Škrbić, dipl. ing. el.
dr. Narcis Behlilović, dipl. ing. el.
mr. Akif Šabić, dipl. ing. el.
mr. Radomir Bašić, dipl. ing. el.
mr. Hamdo Katica, dipl. ing. el.
mr. Edina Hadžić, dipl. ing. el.
mr. Stipe Prlić, dipl. ing. el.
mr. Džemal Borovina, dipl. ing. el.

Glavni i odgovorni urednik /Editor and Chief
mr. Nedžad Rešidbegović, dipl. ing. el.

Lektor/Linguistic Adviser
Indira Pindžo

Tehnički urednik/Technical Editor
dr. Jasminko Mulaomerović, dipl. ing. el.

Računarska obrada/DTP
Narcis Pozderac, TDP d.o.o. Sarajevo

Štampa/Printed by
SaVart

Časopis je evidentiran u evidenciji javnih
glasila pri Ministarstvu obrazovanja, nauke
i informisanja Kantona Sarajevo pod brojem
NKM 42/02.

Časopis *TELEKOMUNIKACIJE* u pravilu
izlazi četiri puta godišnje.
Cijena časopisa je 5 KM, za pravna lica
10 KM i za inostranstvo 5 EUR.
Račun broj: 1610000031970047 kod
Raiffeisen bank d.d. Sarajevo

Adresa Uredništva
Bosanskohercegovačko udruženje
za telekomunikacije
Zmaja od Bosne 88
71000 Sarajevo
web: www.bhtel.ba
E-mail: bhtel@bih.net.ba
Tel.: 033 205-602

SADRŽAJ / CONTENTS

Riječ urednika	2
<hr/>	
B. Щепанович	
Повышение пропускной способности	
многопарных кабелей в сетях DSL-доступа	
Povećanje propusnosti višeparičnih	
kablova u DSL pristupnim mrežama.....	4
<hr/>	
Sabina Baraković, dipl. ing. el., dr. Jasmina Baraković, dipl. ing. el.,	
dr. Suad Kasapović, dipl. ing. el.	
Protokoli usmjerenja u mobilnim ad hoc mrežama	
Routing protocols in mobile ad hoc networks	10
<hr/>	
Nedim Nalo, dipl. ing. el.	
Kvalitet servisa u IP/MPLS mrežama	
Quality of Service in IP/MPLS networks	19
<hr/>	
mr. Mujo Hodžić, dipl. ing. el.	
Problemi u realizaciji širokopojasnog pristupa s postojećom	
mrežom metalnih kablova i njihovo prevazilaženje	
Problemi u realizaciji širokopojasnog pristupa s postojećom	
mrežom.....	30
<hr/>	
Dušan Trstenský, Ladislav Schwartz, Vladimir Hottmar, Ivan Rados	
Reliability analysis of mesh	
telecommunication network	36
<hr/>	
mr. Amina Krivošić, dipl. ing. el.	
Trgovina spektrom	
Spectrum Trading.....	39
<hr/>	
Uputstva autorima	51
Author's Guidelines.....	52

World Telecommunication and Information Society Day 2010 (WTISD): “*Better city, better life with ICTs*”

17 May marks the anniversary of the signature of the first International Telegraph Convention in 1865 and the creation of the International Telecommunication Union. In 1973, this occasion was recognized as World Telecommunication Day. Following the World Summit on the Information Society (WSIS) in 2005 and the 2006 ITU Plenipotentiary Conference, 17 May was designated as World Telecommunication and Information Society Day.

On 17 May 2010, ITU will celebrate its 145th anniversary. The global celebration of this landmark event will be held in Shanghai at World Expo 2010, which runs from 1 May until 31 October.

As the leading specialized agency of the United Nations for ICT, ITU looks towards its Members to raise awareness of the role of information and communication technologies in creating the opportunities for a better life through long-term, sustainable development, not least among the most vulnerable sections of

our society. In the urban context, ICTs have increasingly dictated lifestyles and behaviour patterns and contributed to the growth of trade and commerce, improved governance and municipal services, and revolutionized entertainment through the development of rapid communications, both mobile and fixed.

At its 2009 session, ITU Council adopted the theme: “***Better city, better life with ICTs***” to mark World Telecommunication and Information Society Day in 2010.

The WTISD-10 theme is juxtaposed with that of the Shanghai World Expo, which is dedicated to promoting “Better Cities, Better Life” and which will showcase a number of initiatives aimed at achieving greener, safer, healthier, prosperous, inclusive and well-managed cities – where over half the world’s population resides.

ICTs provide solutions to many of the problems facing cities even as they become magnets for migrating populations as well as contribute to making them more eco-friendly and economically viable. For many city dwellers, it is nearly impossible to imagine life without ICTs. From television to mobile phones and the Internet, ICTs have reshaped the world, helping billions of people to live, work and play. ICTs present innovative ways of managing our cities – smart buildings, intelligent traffic management, new efficiencies in energy consumption and waste management, and not least exchanging information and knowledge and communicating on the move in an increasingly converged information society.

While the world’s cities are undoubtedly endowed with many advantages, the disparities between the haves and the have nots among urban populations is often a vivid reminder that the vast majority is left out of the reach of development. It is ironic that even in densely populated urban centres countless millions are deprived of access to the means of communication and information that are taken for granted

by others. Along with this growing digital divide, the lack of safe drinking water, sanitation, food, shelter, health care and education are basic needs that are addressed by the Millennium Development Goals, which calls for the significant improvement in the lives of at least 100 million slum dwellers by 2020.

By tapping into the huge potential of ICTs to improve the lives of people and by providing affordable and equitable access to information and knowledge to empower everyone to achieve their aspirations, administrations can contribute towards meeting the rising expectations of an ever-growing population in the world’s cities. Acting as catalysts for a more productive and better life, ICTs open the door to a myriad

solutions that help achieve harmony among the spatial, social and environmental aspects of cities and among their inhabitants.

The World Summit on the Information Society (WSIS), which met in Geneva in 2003 and in Tunis in 2005, called upon countries to consider establishing national mechanisms to achieve universal access in both underserved rural and urban areas in order to bridge the digital divide. ITU is committed to connecting the world and to ensure that the benefits of ICT reach the remotest parts of the world, including the dark spots that leave millions unconnected in our teeming cities.

The theme of this year's WTISD aims to ensure that ICTs will contribute to a better future for the growing populations of urban centres.

During this year's WTISD, ITU calls upon all stakeholders (policy makers, regulators, operators and industry) to promote the adoption of policies and strategies that will promote ICTs in urban areas to contribute towards a better life in cities.

We invite you to consider organizing programmes in your country to mark WTISD 2010 with a focus on the theme: ***Better city, better life with ICTs***. It would be useful to involve all sections of society to formulate awareness and consensus on the issues underlying the theme. We would appreciate it if you send us your reports or supporting material, including photographs and videos to be posted on ITU's WTISD website through the online form at www.itu.int/wtisd/2010/form.

This year, the theme for World Telecommunication and Information Society Day, "***Better city, better life with ICTs***" will influence our work not only on the Day but throughout the year and in the future as well.

The global event will be showcased at World Expo 2010 in Shanghai and will be marked by a high-profile ceremony to present the World Telecommunication and Information Society Award to eminent personalities who have contributed to using ICTs in providing a better life in cities. Forums will be organized 15–18 May in Ningbo and Shanghai, China on issues related to ICTs and Urban Development. The WSIS Forum aimed at reviewing the implementation of the Summit objectives will be held in Geneva, 10–14 May 2010.

ITU will post all promotional WTISD-related material for downloading at: www.itu.int/WTISD/2010. The information and material will help you organize activities and events on 17 May. In particular, it will include messages from UN Secretary-General Mr Ban Ki-moon and from me along with high-resolution files of a poster in Arabic, Chinese, English, French, Russian and Spanish that you are invited to reproduce locally. A neutral poster will also be available for use with other languages.

With respect to the theme of World Telecommunication and Information Society Day 2010, let us resolve to use ICTs to make our cities better and more sustainable and in harmony with the lives of their residents.

I join you in celebrating the 145th anniversary of ITU and wish you a very successful World Telecommunication and Information Society Day 2010.

Dr Hamadoun I. Touré
Secretary-General

Повышение пропускной способности многопарных кабелей в сетях DSL-доступа

Povećanje propusnosti višeparičnih kablova u DSL pristupnim mrežama

Sažetak

У раду се дјају препоруке за повећање радне фреквенције дигиталне претплатничке линије анализом слабљења парика и њиховог међусобног утицаја. Показује се да повећање радне фреквенције дигиталне претплатничке линије и омјера сигнал/шум у вишепариčним кабловима одређују параметри преноса и карактеристике међусобног утицаја парика. Да би се повећала радна фреквенција треба користити DSL каблове са најбољим карактеристикама међусобних утицаја и опрему са нижим vrijednostima PSACR. Ако су vrijednosti PSACR задане и параметри слабљења и PSNEXT познати, а жељеној брзини преноса nije могуће ostvariti, треба смањити дужину претплатничке линије.

Ključne riječi: дигитална претплатничка линија, вишепариčни каблови, параметри преноса, карактеристике међусобних утицаја, широкопојасни приступ, радна фреквенција.

Ключевые слова: цифровая абонентская линия, многопарные кабели связи, пропускная способность кабеля, параметры передачи, характеристики взаимного влияния, широкополосный доступ, эксплуатационная частота.

Введение

Для определения качества много-парных кабелей на «последней милю» используется понятие «потенциальная пропускная способность кабеля». Для достоверной передачи сигнала необходимо, чтобы в месте его приема отношение сигнал/шум было не менее заданного значения. При этом учитываются тепловой шум, помехи взаимного влияния пар в сердечнике кабеля и помехи, создаваемые внешними электромагнитными полями. В относительно коротких абонентских линиях тепловой шум можно не принимать во внимание. Столь же пренебрежимо малы помехи от внешних электромагнитных полей (благодаря экранированию кабельного сердечника), так что при дальнейшем анализе учитываются только затухания двухпроводных цепей и взаимные влияния между ними. Принимаются также допущения: все двухпроводные цепи в кабельном сердечнике активны и по ним передаются однородные цифровые сигналы; выходные мощности сигналов во всех двухпроводных цепях одинаковы; все системы передачи имеют скремблеры, что позволяет считать спектр сигналов белым шумом. В статье даны рекомендации по повышению эксплуатационной частоты цифровой абонентской линии.

Коэффициент затухания симметричных цепей

Коэффициент затухания симметричных цепей (дБ/км) рассчитывается по формуле:

$$\alpha = k_1 \sqrt{f} + k_2 f + \frac{k_3}{\sqrt{f}}, \quad (1)$$

где f — частота, МГц.

При этом затухание пар ($Attn = al$) на элементарном участке частотного диапазона Δf можно аппроксимировать линейной функцией $Attn \approx A + B \log f$. Для расчета частотной характеристики затухания пар длиной 1 км, образованных из проводов диаметром 0,4; 0,5 и 0,6 мм, используются эмпирические коэффициенты затухания k_1 , k_2 , k_3 (табл. 1).

Таблица 1

Диаметр провода, мм	k_1	k_2	k_3
0,4	22,31	0,25	0,55
0,5	19,67	0,23	0,50
0,6	17,97	0,21	0,46

Основное влияние на частотную характеристику затухания пар в диапазоне частот систем xDSL оказывает первый член уравнения (1).

Электромагнитные связи между парами в сердечнике кабеля

До появления специальных конструкций DSL-кабелей системы xDSL внедрялись в сетях, построенных с использованием традиционных городских НЧ-кабелей, предназначенных для передачи голоса и доступа в Интернет с небольшой скоростью цифрового потока. На строительной длине многопарных НЧ-кабелей, удовлетворяющей регламентированным техническим характеристикам на частоте 800 Гц, имеет место распределенная электромагнитная связь. В диапазоне частот, используемых системами xDSL, наряду с распределенными встречаются концентрированные связи. Их количество возрастает пропорционально эксплуатационной частоте. В реальных условиях эксплуатации взаимное влияние пар (по которым работают системы DSL) является следствием распределенных и концентрированных электромагнитных связей. На их соотношение можно повлиять выбором конструктивных элементов кабеля. В частности, при правильном выборе метода монтажа можно сократить долю концентрированных связей.

Суммарное влияние распределенных и концентрированных электромагнитных связей можно представить комплексными электромагнитными связями на ближнем и дальнем концах участка длиной l :

$$\bar{N}_{12}^e = N_{12p} \int_0^l e^{-2\gamma x} dx + \sum_{i=1}^p \bar{N}_{12}(X_i) e^{-2\gamma x_i}; \quad (2)$$

$$\bar{F}_{12}^e = F_{12p} l + \sum_{i=1}^p \bar{F}_{12}(X_i), \quad (3)$$

где N_{12p} и F_{12p} — комплексные распределенные электромагнитные связи на ближнем и дальнем концах между двумя парами длиной l ; $N_{12}(X_i)$ и $F_{12}(X_i)$ — комплексные концентрированные электромагнитные связи на ближнем и

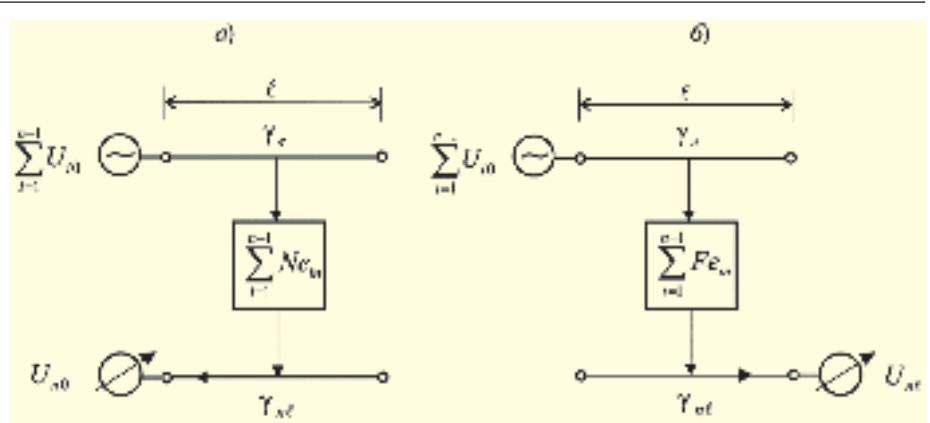


Рис. 1

далнем конце в p точках между двумя парами и на длине l ; γ — коэффициент распространения цепи; l — длина взаимовлияющих пар в сети доступа.

Переходное затухание между парами DSL-кабелей определяется равновесием электромагнитного моста звездной четверки, которое зависит от однородности жил и изоляции проводов, шага скрутки четверок и геометрической симметрии поперечного сечения кабеля. На среднеквадратическое значение суммарной мощности взаимного влияния между парами на ближнем конце (Power Sum Near End Crosstalk — PSNEXT) сильнее всего влияет PSNEXT внутри элементарного пучка $A = 5 \times 4$.

Контроль однородности жил, однородности изоляции провода и поясной оболочки из ПЭ на разных этапах производства кабеля, а также выбор шага и направлений скрутки пар внутри пучка A позволяют уменьшить значение электромагнитных связей между цепями. PSNEXT в пучке D зависит от формирования пучка A : $(2+8) \times 2$, $(3+7) \times 2$ или $(3 \times 2) + (3 \times 2) + (4 \times 2)$.

На PSNEXT в пучке D незначительно влияет PSNEXT соседних пучков A , в то время как влияние на PSNEXT несоседних элементарных пучков A можно считать пренебрежимо малым.

На электромагнитные связи между парами соседних и несоседних элементарных пучков A кабелей DSL, вне зависимости от выбора элементов скрутки (пара или четверка) пучка A ,

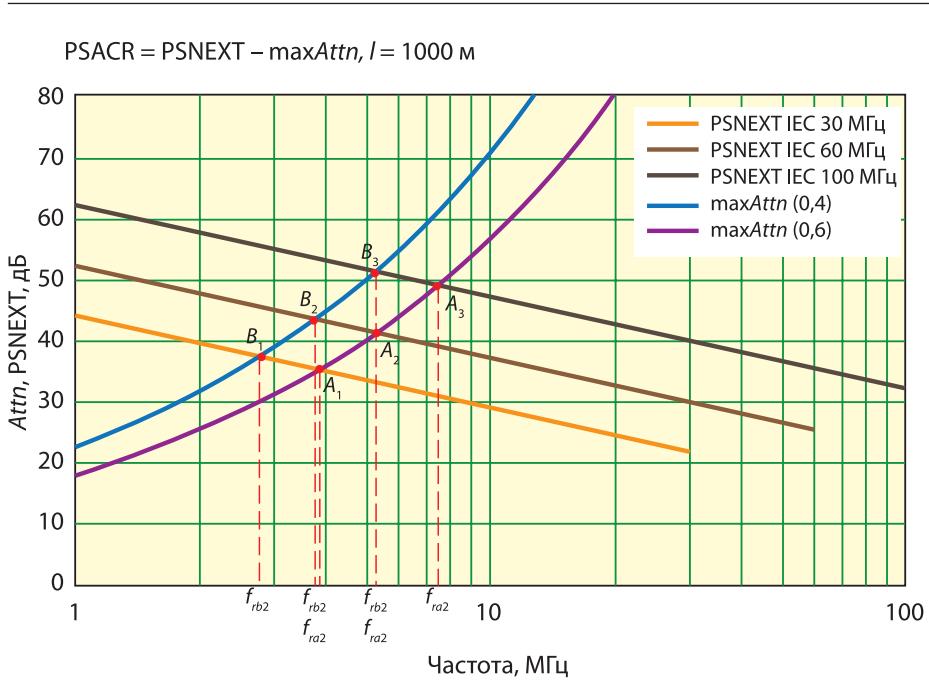


Рис. 2

можно воздействовать путем выбора разных шагов скрутки пучков A и их направлений скрутки в центральном и первом слоях при формировании главного пучка D .

Показателем широкополосности сети является также суммарная мощность среднеквадратического значения переходного затухания между парами на дальнем конце (Power Sum Far End Crosstalk — PSFEXT). Для оценки качества сети по данному критерию используется понятие защищенности цепи на дальнем конце:

$$PSELFEXT = PSFEXT - \text{maxAttn}. \quad (4)$$

Фактивные четырехполюсники в кабельном сердечнике. Суммарное влияние $(n-1)$ влияющих пар на n -ю пару, подверженную влиянию, можно представить комплексными функциями передачи эквивалентных фактических четырехполюсников на ближнем и дальнем концах:

$$Ne_{in} = |Ne_{in}| e^{-\varphi_{Ne_{in}}};$$

$$Fe_{in} = |Fe_{in}| e^{-\varphi_{Fe_{in}}},$$

где $\varphi_{Ne_{in}}$ и $\varphi_{Fe_{in}}$ — аргументы комплексной функции передачи эквивалентного фактического четырехполюсника.

ника на ближнем (рис. 1, a) и дальнем (рис. 1, b) концах.

Ограничения по широкополосному доступу для многопарных кабелей

Ограничения по полосе частот и длине цифровой абонентской линии определяются отношениями сигнал/шум (Signal-To-Noise Ratio — SNR) и сигнал/переходное затухание на ближнем конце плюс помеха (Attenuation Crosstalk Ratio — ACR), которые зависят от частотных характеристик затухания пар и NEXT между парами.

Допустимое значение SNR в диапазоне f_e для каждой системы xDSL определяется затуханием пар и спектральной структурой помех. Для расчета допустимой частоты f_e кабелей DSL вводится отношение сигнал/суммарная мощность среднеквадратического значения переходного влияния на ближнем конце плюс помеха (Power Sum Attenuation Crosstalk Ratio — PSACR):

$$\text{PSACR} = \text{PSNEXT} - \text{maxAttn}. \quad (5)$$

В начале n -й пары, подверженной влиянию, PSNEXT в многопарном кабельном сердечнике зависит от значения NEXT между этой парой и i активных влияющих пар:

$$\text{PSNEXT}_{0n} \approx -10 \log \sum_{i=1}^{n-1} 10^{-0,1a_{0in}}.$$

Будем считать, что i равно $(n-1)$. Количество систем xDSL, которые могут, не мешая друг другу, работать в сети с определенной скоростью цифрового потока, определяется как потенциальная пропускная способность сети.

Расчет опорной и реальной эксплуатационной частоты пар

С учетом уравнения (1) частотную характеристику затухания многопарных DSL-кабелей можно записать в виде

$$\alpha l \approx lk_1 \sqrt{f}. \quad (6)$$

В реальных условиях эксплуатации сети воздействие на n -ю пару, подвер-

женную влиянию, оказывает i активных пар. Поэтому вводится критерий

$$PSNEXT \approx E - F \log f. \quad (7)$$

Опорную частоту f_r определяют проекции точек пересечения частотной характеристики затухания пар и частотной характеристики PSNEXT на ось абсцисс. Расчет производится из равенства $al = PSNEXT$, т. е.

$$lk_1\sqrt{f} = E - F \log f_r.$$

Эксплуатационная частота f_e рассчитывается из (5):

$$PSCAR = E - F \log f_e - lk_1\sqrt{f_e}.$$

Для $\Delta f = (fr - fe)$ уравнение (6) можно записать в виде $al \approx A + Blog f$.

Отсюда следует, что опорная и эксплуатационная частота

$$f_r \approx 10^{\frac{E-(A+B)}{F}}; \\ f_e \approx 10^{\frac{E-(A+ACR)}{B+F}},$$

где A — затухание цепи на частоте 1 МГц; B — изменение частотной характеристики затухания в диапазоне частот $\Delta f = fr - f_e$ (дБ/декаду); E — PSNEXT на частоте 1 МГц; F — стандартное изменение частотной характеристики PSNEXT ($F \approx 15$ дБ/декаду).

Исходя из уравнения (6) и табл. 1, для кабелей длиной 1 км с диаметром жил 0,4 и 0,6 мм можно записать:

$$Attn(0,4) \approx 22,310\sqrt{f}; \\ Attn(0,6) \approx 17,797\sqrt{f}. \quad (8)$$

Следовательно, на частоте 1 МГц $\Delta Attn = Attn(0,6) - Attn(0,4)$, т. е. $\Delta Attn = 4,513$.

Таким образом, в рабочем диапазоне частот DSL-кабелей категории 1, 2 и 3 $\Delta Attn \approx 4,5\sqrt{f}$ (дБ).

В абонентской линии длиной 1 км частотные характеристики затухания пар в диапазоне частот между f_e и f_r равны

$$\max Attn(0,4) \approx 19,3 + 40,3 \log f;$$

$$\max Attn(0,6) \approx 13,2 + 37,1 \log f.$$

В зависимости от качества DSL-кабелей (категория 1 — до 30 МГц, 2 — до

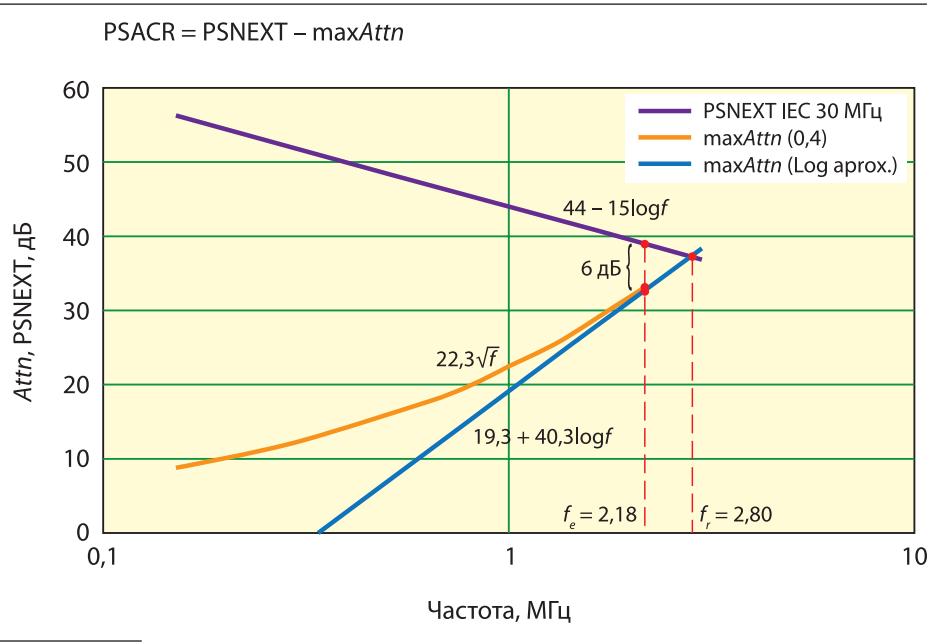


Рис. 3

60 МГц, 3 — до 100 МГц) коэффициент E из (7), представляющий собой PSNEXT на частоте 1 МГц, равен 44, 52 и 62 дБ соответственно.

В общем случае можно записать

$$PSNEXT \approx (44 + m) - 15 \log f, \quad (9)$$

где m — коэффициент, зависящий от категории кабеля DSL: для категории 1 $m = 0$ дБ, для категории 2 $m = 8$ дБ, для категории 3 $m = 18$ дБ.

Эксплуатационная частота пар многопарных DSL-кабелей с известными конструктивными и электрическими характеристиками определяется проекциями точек пересечения PSNEXT и затухания (A_1, A_2, A_3 и B_1, B_2, B_3) на ось абсцисс (рис. 2).

На строительных длинах DSL-кабелей категории 1 с диаметром жил 0,6 мм и категории 2 с диаметром жил 0,4 мм опорные частоты приблизительно одинаковы ($f_{ra1} = f_{rb2}$); аналогично для DSL-кабелей категории 2 с диаметром жил 0,6 мм и категории 3 с диаметром жил 0,4 мм $f_{ra2} = f_{rb3}$.

В табл. 2 представлены расчетные значения f_r и f_e для сетей доступа длиной 1 км, построенных на основе многопарных DSL-кабелей категорий 1, 2 и 3 для заданного значения PSACR = 6 дБ.

Таблица 2

Категория кабеля	PSNEXT кабелей DSL (PSNEXT = $E - 15 \log f$), дБ	f_r , МГц		f_e , МГц	
		для провода диаметром, мм			
		0,4	0,6	0,4	0,6
1	$44 - 15 \log f$	2,80	3,80	2,18	3,00
2	$52 - 15 \log f$	3,70	5,20	3,04	4,20
3	$62 - 15 \log f$	5,20	7,30	4,05	6,15

Влияние частотных характеристик затухания цепей с жилами диаметром 0,4 мм и NEXT в многопарном DSL-кабеле категории 1 длиной 1 км на эксплуатационную частоту. По критерию PSACR наименьшую частоту f_e имеют DSL-кабели категории 1 с жилами диаметром 0,4 мм. В абонентской линии длиной 1 км допустимая частота f_e определяется частотной характеристикой затухания (8) и

PSNEXT (9), когда $m = 0$ дБ. Функцию $Attn \approx lk_1\sqrt{f}$ между точками $f_e = 2,18$ МГц (PSACR = 6 дБ) и $f_r = 2,80$ МГц (рис. 3) с большой точностью можно аппроксимировать выражением $Attn \approx 19,3 + 40,3 \log f$.

В диапазоне частот DSL-кабелей категории 1 с жилами диаметром 0,4 мм ошибка аппроксимации функции $Attn \approx lk_1\sqrt{f}$ функцией $Attn \approx 24,8 + 24 \log f$ между точками $f_e = 150$ кГц и $f_r = 2,80$ МГц (рис. 4) значительна, однако PSACR остается ≥ 6 дБ.

Временная стабильность эксплуатационной частоты

У кабелей с оболочкой из ПЭ, ПВХ (Аl-ПЭ, Аl-ПВХ) без гидрофобного заполнения в промежуточном пространстве сердечника может проявиться диффузионный процесс (накопление влаги), который увеличивает значение диэлектрической проницаемости и таким образом влияет на вторичные параметры передачи.

Частотная характеристика затухания цепей с диаметром жил 0,6 мм и оболочкой из сплошного полиэтилена (рабочая емкость 50 нФ/км) представлена на рис. 5.

Временная стабильность частотной характеристики затухания и характеристик взаимного влияния изменяют временную стабильность f_r и f_e . Произведем расчет для многопарных DSL-кабелей категорий 1, 2 и 3 длиной 1 км в предположении, что влажность в промежуточном пространстве незаполненного сердечника не влияет на PSNEXT. По критерию $PSNEXT = Attn$ определяем точки пересечения, т. е. значения f_r для воздуха (A_0, B_0, C_0) и влажности: 10 % – точки A_1, B_1, C_1 ; 30 % – точки A_3, B_3, C_3 ; 50 % – точки A_5, B_5, C_5 .

Проекции точек пересечения на ось абсцисс определяют значения f_r . Задавая PSACR = 6 дБ, получаем значения f_e (табл. 3) для цепей с жилами диаметром 0,6 мм и ПЭ-изоляцией для трех категорий кабелей DSL.

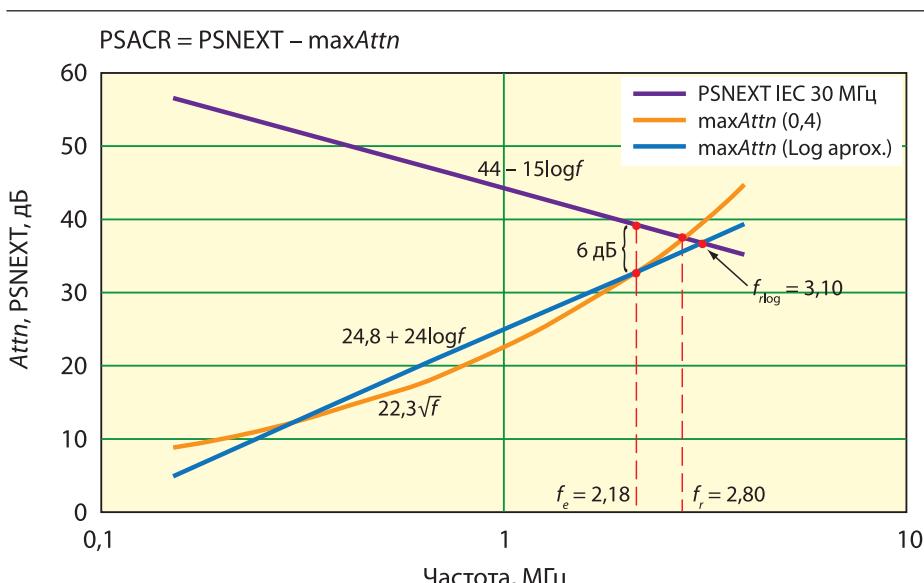


Рис. 4

Заключение

Таким образом, эксплуатационная частота цифровой абонентской линии и отношение сигнал/помеха многопарных кабелях определяются параметрами передачи и характеристиками взаимного влияния цепей. Для увеличения эксплуатационной частоты целесообразно использовать DSL-кабели с лучшими характеристиками взаимного влияния и аппаратуру с меньшим значением PSACR. Если при заданном значении PSACR и известных параметрах затухания и PSNEXT достичь желаемой скорости цифрового потока не удается, следует уменьшить длину абонентской линии.

Таблица 3

Категория кабеля	PSNEXT кабелей DSL ($PSNEXT = E - 15\log f$), дБ	f_e , МГц, при влажности, %			
		0	10	30	50
1	$44 - 15\log f$	4,15	2,50	1,50	1,20
2	$52 - 15\log f$	5,90	3,25	1,80	1,40
3	$62 - 15\log f$	9,15	4,50	2,30	1,70

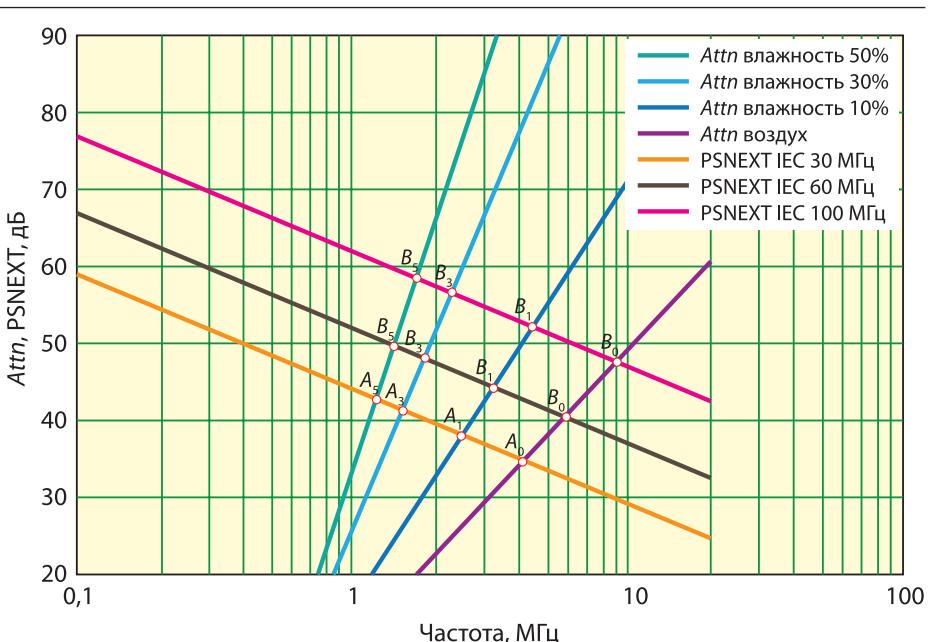


Рис. 5



Elatec Vertriebs GmbH
Hans-Stiessberger-Str. 2a,
D-85540 Haar, GERMANY
Phone: +49 89 46 23 070
Fax: +49 89 460 24 03
Info@elatec.de
www.elateceurope.com

Djelatnost Elatec Vertriebs GmbH obuhvaca oblasti Smart Card & Scratch Card
RFID, IT – Security, Banking & Loyalty.

Protokoli usmjeravanja u mobilnim *ad hoc* mrežama

Routing protocols in mobile *ad hoc* networks

Sažetak

Mobilna *ad hoc* mreža (engl. *Mobile Ad Hoc Network*, MANET) je skupina bežičnih pokretnih čvorova koji međusobno komuniciraju bez mrežne infrastrukture ili centraliziranog upravljanja. U mobilnim *ad hoc* mrežama čvorovi su neprestano u pokretu i generiraju nekorisni teret, pa izbor protokola usmjeravanja u usporedbi sa žičnim mrežama predstavlja veliki izazov. Cilj ovog rada je izvršiti ocjenu performansi tri protokola usmjeravanja u mobilnim *ad hoc* mrežama, protokola AODV (engl. *Ad Hoc On-demand Distance Vector*), protokola DSDV (engl. *Destination Sequenced Distance Vector*) i protokola DSR (engl. *Dynamic Source Routing*), na osnovu rezultata analize koji su dobiveni izvođenjem simulacija različitih scenarija pokretljivosti i opterećenja u mrežnom simulatoru NS-2 (engl. *Network Simulator 2*). Za usporedbu protokola usmjeravanja korišteni su odnos uspješno prenesenih paketa i ukupnog broja paketa (engl. *Packet Delivery Ratio*, PDR), prosječno kašnjenje s kraja na kraj, te normalizirano opterećenje usmjeravanja (engl. *Normalized Routing Load*, NRL). Razmatrani protokoli u scenarijima slabe pokretljivosti i opterećenja reagiraju na sličan način, dok sa povećanjem pokretljivosti DSR protokol nadmašuje AODV i DSDV protokole.

Ključne riječi: AODV, DSDV, DSR, MANET

Abstract

Mobile ad hoc network (MANET) is a group of wireless mobile nodes which are communicating without network infrastructure or centralized administration. In mobile ad hoc networks nodes are constantly moving and causing routing overhead, so routing protocol election is a great challenge in comparison with wired networks. The aim of this paper is to carry out performance evaluation of three important routing protocols in mobile ad hoc networks, Ad Hoc On-demand Distance Vector (AODV), Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) and Dynamic Source Routing (DSR), based on results analysis obtained by running simulations with different load and mobility scenarios in network simulator NS-2. Parameters used for comparison are packet delivery ratio (PDR), average end-to-end delay and normalized routing load (NRL). Considered protocols react in similar way in low mobility and low load scenarios, but with mobility increasing DSR outperforms AODV and DSDV protocols.

Keywords: AODV, DSDV, DSR, MANET

INDEKS POJMOVA ISKRAĆENICA

- AODV** – Ad Hoc On-demand Distance Vector
CBR – Constant Bit Rate
DSDV – Destination Sequenced Distance Vector
DSR – Dynamic Source Routing
FSR – Fisheye State Routing
MANET – Mobile Ad Hoc Network
NPDU – Network Protocol Data Unit
NRL – Normalized Routing Load
NS – Network Simulator
PDA – Personal Digital Assistant
PDR – Packet Delivery Ratio

I UVOD

Mobilni uređaji kao što su mobilni telefoni, prijenosni računari (laptopi) ili džepni računari (engl. *Personal Digital Assistant*, PDA) su posljednjih godina postali izuzetno popularni, a njihov broj u svijetu je dosegnuo milijardu. Savremeni čovjek želi imati pristup Internetu preko mobilnog uređaja bilo gdje i u bilo kojem trenutku, jer na Interentu može pronaći skoro svaku informaciju koja mu je potrebna i time olakšati svakodnevnicu.

Danas se na raznim mjestima kao što su hoteli, aerodromi i ustanove sličnog tipa nudi bežičan pristup Internetu, ali baziran na prethodno postavljenoj fiksnoj infrastrukturi preko koje se bežični uređaji spajaju na Internet. Zbog ovakvog načina pristupa Internetu dok smo u pokretu pristupilo se razvoju drugačijeg modela, a to je *ad hoc* mreža, odnosno mobilna *ad hoc* mreža (engl. *Mobile Ad Hoc Network*, MANET) kao njena podvrsta.

U infrastrukturnim mrežama pokretni čvorovi bežičnim kanalima komuniciraju sa fiksnom pristupnom tačkom koja se ponaša kao usmjeritelj za te pokretnе čvorove. Međutim, mobilna *ad hoc* mreža je skupina bežičnih pokretnih čvorova koji međusobno komuniciraju bez mrežne infrastrukture ili centraliziranog upravljanja. Dakle, pokretni čvorovi u mobilnim *ad hoc* mrežama komuniciraju koristeći *multi-hop* bežične veze, te se ponašaju kao usmjeritelji prosljeđujući pakete za druge čvorove.

Usmjeravanje, kao postupak pomjeranja informacije u mreži od izvora do odredišta preko posrednih čvorova, je fundamentalno za mreže. Učinkovitost svake mreže, pa i mobilnih *ad hoc* mreža ovisi o protokolu usmjeravanja. Pronalaženje učinkovitijeg protokola usmjeravanja je aktuelno područje istraživanja, jer se zahtjevi za učinkovitost stalno povećavaju. Tradicionalni protokoli usmjeravanja, koji koriste usmjeravanje vektorom udaljenosti i stanjem veze, imaju dobre performase u žičnim mrežama, jer one imaju predvidljive mrežne osobine, kao što su stalna mrežna topologija i kvaliteta veze. Međutim, kada se primjene u mobilnim *ad hoc* mrežama nemaju dobre

performanse. Izazovi koji usmjeravanje u mobilnim *ad hoc* mrežama čine teškim zadatkom su dinamička topologija, asimetrične veze, nekorisni teret usmjeravanja i interferencija.

U ovom radu izvršena je klasifikacija protokola usmjeravanja i usporedba performansi tri protokola usmjeravanja u mobilnim *ad hoc* mrežama na osnovu rezultata simulacija izvedenih u mrežnom simulatoru (engl. *Network Simulator 2*, NS-2) [1]. Simulirano je nekoliko scenarija koji se razlikuju po broju konekcija u mreži i trajanju pauza. Parametri na osnovu kojih je izvedena usporedba su prosječno kašnjenje s kraja na kraj, odnos uspješno prenesenih paketa i ukupnog broja paketa, te normalizovano opterećenje usmjeravanja.

Rad je koncipiran na sljedeći način: u sekciji II izvršena je klasifikacija protokola usmjeravanja, te opisani i ilustriрani razmatrani protokoli usmjeravanja, u sekciji III su opisani parametri simulacija i scenarij, u sekciji IV predstavljeni rezultati simulacija i izvršena analiza, a u sekciji V su izvedeni zaključci.

II KLASIFIKACIJA

PROTOKOLA USMJERAVANJA

Iako su za mobilne *ad hoc* mreže predloženi brojni protokoli usmjeravanja, ne postoji univerzalni protokol koji radi dobro u svim scenarijima sa različitim načinom kretanja čvorova, mrežnim veličinama i prometnim opterećenjima. Svaki od predloženih protokola se zasniva na drugaćijem principu i ima drugačije karakteristike. Da bi istraživači i dizajneri razumjeli različitosti protokola usmjeravanja vrši se njihova klasifikacija. Klasifikacija se zasniva na karakteristikama koje se odnose na informacije koje se koriste za usmjeravanje i uloge koje čvorovi preuzimaju u procesu usmjeravanja. Najpopularnija metoda za klasifikaciju protokola usmjeravanja se zasniva na tome kako se dobiva usmjerivačka informacija i kako je pokretni čvorovi održavaju, odnosno podjela protokola usmjeravanja na protokole proaktivnog i reaktivnog usmjeravanja.

A Protokoli proaktivnog usmjeravanja

Protokoli proaktivnog usmjeravanja se nazivaju „tabelarno upravljeni“ protokoli usmjeravanja. Koristeći protokole proaktivnog usmjeravanja, čvorovi u mobilnim *ad hoc* mrežama stalno ocjenjuju puteve do svih dostupnih čvorova i nastoje održati konzistentne i najnovije usmjerivačke informacije bez obzira da li promet postoji ili ne. Prednosti ove vrste protokola usmjeravanja su pronađak najkraće putanje kroz mrežu i dostupnost putanje usmjeravanja u trenutku kada je potrebna, čime je smanjeno kašnjenje. Nedostatak protokola proaktivnog usmjeravanja je pružanje otpora promjenama topologije.

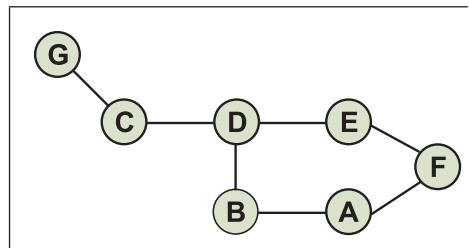
Tipični predstavnici protokola proaktivnog usmjeravanja su: DSDV (engl. *Destination Sequenced Distance Vector*) protokol usmjeravanja, WRP (engl. *Wireless Routing Protocol*) protokol usmjeravanja, te FSR (engl. *Fisheye State Routing*) protokol usmjeravanja.

Detaljno razmatrani protokol proaktivnog usmjeravanja u ovom radu je DSDV protokol usmjeravanja.

Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) protokol usmjeravanja

Protokol usmjeravanja DSDV [2] se zasniva na Bellman-Ford algoritmu usmjeravanja. Svaki pokretni čvor održava tabelu usmjeravanja koja sadrži sva dostupna odredišta sa pridruženim sljedećim skokom, metrikom i odredišnim rednim brojem. Redni broj je poboljšanje DSDV protokola u odnosu na usmjeravanje vektorom udaljenosti, a koristi se za razlikovanje zastarjelih putanja od novih i za izbjegavanje petlji na putanji.

Tabele usmjeravanja se ažuriraju razmjrenom informacijom između pokretnih čvorova. Svaki čvor periodično šalje svoju tabelu usmjeravanja svojim susjedima. Prijenos se obavlja u podatkovnim jedinicama mrežnog sloja (engl. *Network Protocol Data Unit*, NPDU). Razmjena se može izvršiti kopiranjem cijele tabele usmjeravanja (brojni NPDU-ovi), ili inkrementalnim ažuriranjem (jedan



Slika 1.
Primjer DSDV protokola u trenutku $t=0$

INDEKS POJMOVA ISKRAĆENICA

RREP – Route Reply

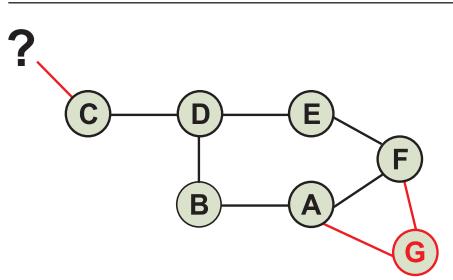
RREQ – Route Request

RRER – Route Error

TOA – Temporally Ordered Routing

Algorithm

WRP – Wireless Routing Protocol



Slika 2.
Primjer DSDV protokola u trenutku $t+1$

NPDU), što podrazumijeva razmjenu samo nedavno ažuriranih puteva. Čvorovi koji prime ove podatke ažuriraju svoje tabele ako su primili bolji ili novi put. Odnosno, kada čvorovi prime informacioni paket od drugog čvora, pored njegov redni broj sa raspoloživim rednim brojem za taj unos. Ako je redni broj paketa veći, unos će se ažurirati informacijom sa novim rednim brojem, ili pak, ako paket ima isti redni broj, tražit će unos metrike. Ako je broj skokova manji od prethodnog unosa izvršit će se ažuriranje sa novom informacijom. Ažuriranje se vrši periodično, ali i kada se detektuje novi događaj u mreži, odnosno značajna promjena u tabeli usmjeravanja od posljednjeg ažuriranja. Ako se topologija učestalo mijenja, izvest će se razmjena cijele tabele, budući da će inkrementalno ažuriranje u stabilnoj topologiji uzrokovati manje prometa.

Izbor putanje se izvodi prema kriteriju metrike i rednog broja. Redni broj je, također, vremenska indikacija koju šalje odredišni čvor, te omogućava proces ažuriranja tabele. Ako imamo dva identična puta, sačuvat će se i koristiti put sa boljim rednim brojem, dok će drugi biti uništen.

Ilustracija rada DSDV protokola usmjeravanja je data na slici 1 i slici 2. Naime, u trenutku $t=0$, mreža je organizirana kao na slici 1. Prepostavimo da je u tom trenutku mreža stabilna, svaki čvor ima ispravnu tabelu usmjeravanja svih odredišta.

Zatim, prepostavimo da se čvor G pokreće, te u trenutku $t+1$, topologija ima izgled kao na slici 2.

U ovoj fazi, detektirani su sljedeći događaji i poduzete sljedeće radnje:

- na čvoru C prekinuta je veza sa čvorom G, put je izbrisana, te je korekcija poslana čvoru D,
- na čvorovima A i F: detektirana je nova veza, dodan je novi unos u tabelu usmjeravanja i poslane su korekcije čvorovima,
- na čvoru G: detektirane su dvije nove veze (prema čvorovima A i F), prekinuta veza sa čvorom C, ažurirana je tabela usmjeravanja i susjedima je poslana cijela kopija tabele.

B Protokoli reaktivnog usmjeravanja

Protokoli reaktivnog usmjeravanja za mobilne *ad hoc* mreže se nazivaju i „na zahtjev“ protokoli usmjeravanja. Kod protokola reaktivnog usmjeravanja proces pronalaska putanje se pokreće samo kada je putanja potrebna. Taj se proces završava kada je putanja pronađena. Važan postupak je održavanje putanje usmjeravanja. Prednost ove vrste protokola nad protokolima proaktivnog usmjeravanja su efikasnost, pouzadost, te manje kontrolnih podataka. Nedostatak protokola reaktivnog usmjeravanja je kašnjenje uslijed traženja putanje za prijenos podatkovnih paketa.

Tipični predstavnici protokola reaktivnog usmjeravanja su: AODV (engl. *Ad Hoc On-demand Distance Vector*) protokol usmjeravanja, DSR (engl. *Dynamic Source Routing*) protokol usmjeravanja, te TORA (engl. *Temporally Ordered Routing Algorithm*) protokol usmjeravanja.

Detaljno razmatrani protokoli reaktivnog usmjeravanja u ovom radu su AODV i DSR protokoli usmjeravanja.

Ad Hoc On-demand Distance Vector (AODV) protokol usmjeravanja

Protokol usmjeravanja AODV [3] je „na zahtjev“ protokol, tj. vrši uspostavljanje putanje samo kada se za njom ukaže potreba. Protokol usmjeravanja AODV se zasniva na prijenosu paketa sa odgovorom na putanju (engl. *Route Reply*, RREP) nazad do izvora i usmjeravanju paketa do odredišta. Algoritam AODV protokola usmjeravanja sastoji se od dva koraka: pronalazak i održavanje putanje.

Proces pronalaska putanje se pokreće kada jedan od čvorova treba dati pakete. Taj čvor šalje paket sa zahtjevom za putanju (engl. *Route Request*, RREQ) najbližim susjednim čvorovima. Susjedni čvorovi vraćaju RREP ako imaju odgovarajuću putanju do odredišta. Međutim, ukoliko nemaju, prosleđuju RREQ svojim susjedima, izuzev izvorišnog čvora. Također, ovaj paket koriste da bi izgradili povratnu putanju do izvora. Proces se ponavlja dok se putanja ne pronađe.

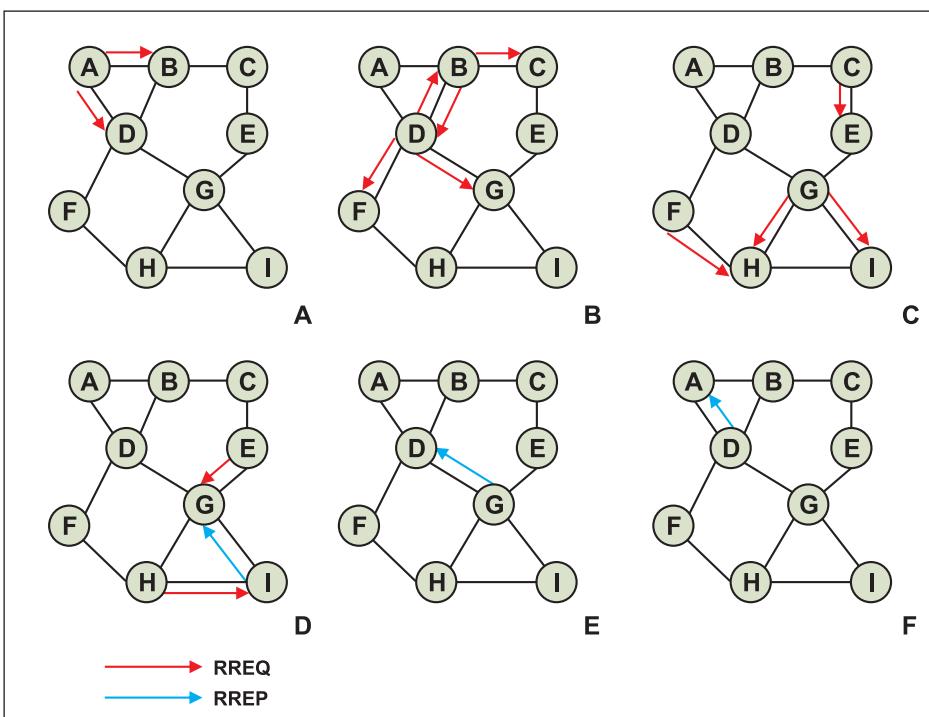
Za održavanje usmjerivačkih informacija koriste se tabele usmjeravanja koje imaju samo informacije o sljedećem skoku i odredištu. Kada se desi prekid veze na putanji, npr. neki prijenosni čvor je izašao iz opsega, susjedni čvorovi će primijetiti odsustvo ove veze. Ako je tako, susjedni čvorovi će provjeriti da li postoji bilo kakav put u njihovim tabelama usmjeravanja čiji je sljedeći skok diskonektirani susjed. Ako postoji takav, svi izvori koji šalju promet koji prolazi kroz ovaj diskonektirani čvor će biti obaviješteni slanjem paketa sa pogreškom na putanji (engl. *Route Error; RRER*). Novi RREQ će generirati izvorišni čvor ako i dalje postoji potreba za prijenosom od izvora.

Ilustracija rada AODV protokola usmjeravanja je data na slici 3. U ovom slučaju, izvorišni čvor A šalje pakete odredišnom čvoru I. Čvor A generira i emituje RREQ paket čvorovima B i D (A). Čvorovi B i D dodaju čvor A u svoju tabelu usmjeravanja, kao povratni put, i prosljeđuju RREQ paket svojim susjedima, a to su čvorovi C, G i F (B). Čvorovi B i D ignoriraju pakete koje međusobno razmjene (kao duplike). Proces proslijedivanja se nastavlja sve dok se ne nađe put (C).

Jednom kada čvor I primi RREQ paket od čvora G (D), generira RREP paket i šalje ga čvoru od kojeg je primio RREQ paket. Duplicirani paketi se ignoriraju dok RREP paket putuje najkraćim putem do čvora A koristeći prethodno ustpostavljene povratne puteve (E i F). Povratne putanje koje stvaraju čvorovi koji nisu upotrijebljeni za RREP paketi se brišu. Čvorovi G i D će dodati put do čvora I prvi puta kada prime RREP paket.

Dynamic Source Routing (DSR) protokol usmjeravanja

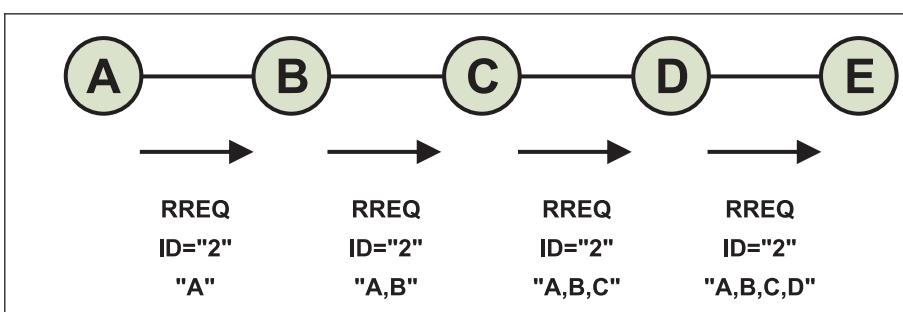
Protokol DSR [4] eksplicitno koristi izvorišno usmjeravanje, što znači da svaki put kada se pošalje podatkovni paket, on sadrži listu čvorova koje će koristiti za proslijedivanje. Drugačije rečeno, poslati paket sadrži putanju koju će koristiti. Putanje se pohranjuju u memoriji, a podatkovni paketi nose izvorišnu putanju u zaglavljima paketa. Mehanizam dopušta



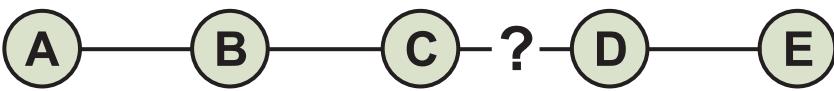
Slika 3.
Primjer pronalaska putanje koristeći AODV protokol

čvorovima na putu da memoriraju nove putanje, te također, da izvor specificira putanju koji želi, ovisno o kriteriju. Ovaj mehanizam izbjegava petlje usmjeravanja.

Ako čvor treba poslati paket drugom čvoru, a nema putanju, pokreće proces pronalaska putanje. Proses pronalaska putanje je sličan procesu pronalaska putanje kod AODV protokola usmjeravanja, tj. radi na principu preplavljuvanja mreže RREQ paketima. Svaki čvor koji primi RREQ emitira ga, osim ako nije odredište ili ima put do odredišta u svojoj memoriji. Takav čvor na RREQ odgovara



Slika 4.
Proces pronalaska puta u DSR protokolu usmjeravanja



Slika 5.
Proces održavanja puta u DSR protokolu

sa RREP paketom koji se usmjerava nazad prema izvoru. Paket RREQ gradi putanju kroz mrežu, a RREP se usmjerava natrag do izvora preko te putanje. Putanja koja vraća RREP se memorira na izvoru radi dalje upotrebe. Može biti više RREP paketa na jedan RREQ zahtjev.

Ako je bilo koja veza na izvornoj putanji prekinuta, izvorišni čvor se obavještava RRER paketom. Izvor uklanja iz memorije putanju koja koristi prekinutu vezu. Novi pronalazak putanje mora pokrenuti izvor, naravno, ako mu je putanja potrebna. Protokol DSR agresivno koristi izvorišno usmjeravanje i pohranjivanje putanja.

Ilustracija rada DSR protokola usmjeravanja je data na slici 4 i slici 5. Čvor A želi put do čvora E. Emitira RREQ svojim susjedima sa proizvoljno odabranim identifikatorom emitiranja. Susjedi prosljeđuju ovaj paket, te se na svakom čvoru unosi povratna putanja u RREQ paket. Kada E primi ovaj RREQ, može poslati RREP čvoru A koristeći povratnu putanju uključenu u paket. Paket RREP sadrži ID zahtjeva i povratnu putanju.

Na slici 5. čvor A je odgovoran za putanju između čvorova A i B, čvor B za putanju između čvorova B i C i tako daleće. Ako čvor A šalje podatke čvoru E, sa prethodno pohranjenim putem, a čvor C nije primio nikakvu potvrdu od čvora D, onda čvor C zaključuje da je veza prekinuta i šalje RRER paket čvoru A i bilo kojem čvoru koji je prethodno koristio ovu vezu. Razmatrani čvorovi će potom ukloniti ovaj put iz svoje tabele i koristiti drugi put ako ga imaju. U suprotnom, počne se ponovo proces pronalaska puta od čvora A do čvora E.

III SIMULACIJSKI PARAMETRI

A Prometni model

U prometnim scenarijima se koriste izvori CBR (engl. *Constant Bit Rate*) prometa. Parovi izvor-odredište se prostiru nasumično preko mreže. Šalju se paketi veličine 512 bajtova. Broj konekcija, tj. parova izvor-odredište se mijenja da bi se promijenilo opterećenje mreže, te se i po tome razlikuju prometni scenariji. U ovom radu razmatrani su prometni scenariji sa 10, 20 i 30 konekcija. Brzina prenosa podataka je 4 paketa/sekundi.

B Model kretanja čvorova

Model kretanja čvorova koristi model nasumične međutačke (engl. *random waypoint model*) u pravougaonom polju. Svaki paket počinje svoj put sa slučajne lokacije do slučajnog odredišta sa nasumično odabranom brzinom. Nakon što čvor stigne na odredište odredi se drugo slučajno odredište nakon pauze. Trajanje pauze, koje utiče na relativnu brzinu čvorova, je promjenljivo. Za izvođenje simulacija sa različitim protokolima i skupljanje ispravnih rezultata koriste se identičan prometni scenarij i scenarij kretanja čvorova.

Scenarij kretanja čvorova je kreiran za 50 čvorova, sa trajanjem pauza od 0, 10, 20, 40 i 100 simulacijskih sekundi, maksimalnom brzinom od 20m/s, granicama topologije od 500mx500m i trajanjem simulacije od 100 sekundi.

C Metrike performansi

U radu ćemo se fokusirati na tri metrike performansi koje su kvantitativno mjerljive:

- Odnos uspješno prenesenih paketa i ukupnog broja paketa (engl. *Packet Delivery Ratio*, PDR): Pokazuje koliko je protokol uspješan u dostavljanju paketa od izvora do odredišta. Računa se po sljedećoj relaciji:

$$PDR\% = \frac{\sum_i^n CBR_primljeni_paket}{\sum_m^1 CBR_poslani_paket} \times 100$$

gdje je n -broj primljenih paketa, a m -broj poslanih paketa.

Prosječno kašnjenje s kraja na kraj: Prosječno kašnjenje s kraja na kraj je prosječna vrijednost kašnjenja svih uspješno prenesenih paketa od izvora do odredišta. Računa se po sljedećoj relaciji:

$$\text{pros_kasnjenje} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{CBR_vrijeme_slanja_paketa} - \text{CBR_vrijeme_primanja_paketa})}{\sum_{i=1}^n \text{CBR_primljeni_paket}}$$

gdje je n -broj primljenih paketa.

Normalizirano opterećenje usmjerenjavanja (engl. *Normalized Routing Load, NRL*): Odnos između ukupnog broja paketa usmjerenja i ukupnog broja uspješno dostavljenih paketa. Računa se prema sljedećoj relaciji:

$$NRL = \frac{\sum_{i=1}^k \text{paketi_usmjerenja}}{\sum_{i=1}^n \text{CBR_primljeni_paket}}$$

gdje je n -broj primljenih paketa, a k -broj paketa usmjerenja.

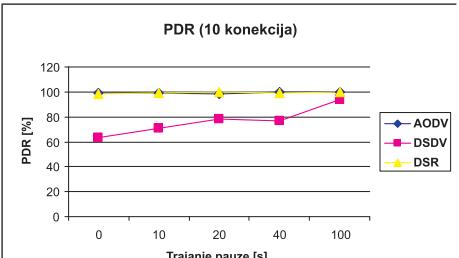
IV REZULTATI I ANALIZA

Analizirani su parametri rezultata i prometni scenariji sa 10, 20 i 30 konekcija.

Različiti mehanizmi na kojima se baza rad ovih protokola vode do razlike u performansama, odnosno svaki protokol usmjerenja drugačije reaguje na visoku pokretljivost. Dobiveni simulacijski rezultati ukazuju na karakteristične razlike između protokola usmjerenja.

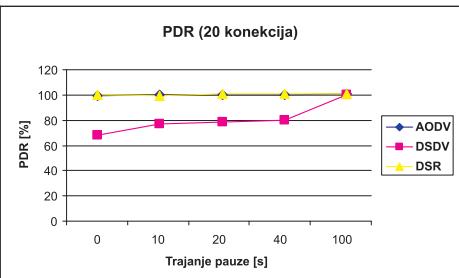
Kao i u [5], protokoli usmjerenja „na zahtjev“, AODV i DSR, imaju visok PDR, što znači da su oni efikasni protokoli s aspekta dostave paketa na njihovo odredište. Za AODV i DSR protokole usmjerenja, PDR je neovisan o opterećenju, tj. o broju konekcija. Tabela 1. pokazuje da oba protokola dostavljaju preko 95% paketa u svim slučajevima razmatranim u ovom radu. Protokol DSDV, s obzirom da koristi „tabelarno upravljanje“ održavanje usmjerenja informacije, za razliku od AODV i DSR protokola usmjerenja, ne prilagođava

se promjenama putanja koje se dešavaju kada imamo visoku pokretljivost i zato dostavlja manje podatkovnih paketa, što pokazuje tabela 1. Dakle, protokol DSDV se ne ističe pri kraćem trajanju pauze, jer je spor. Međutim, ima približno isti PDR

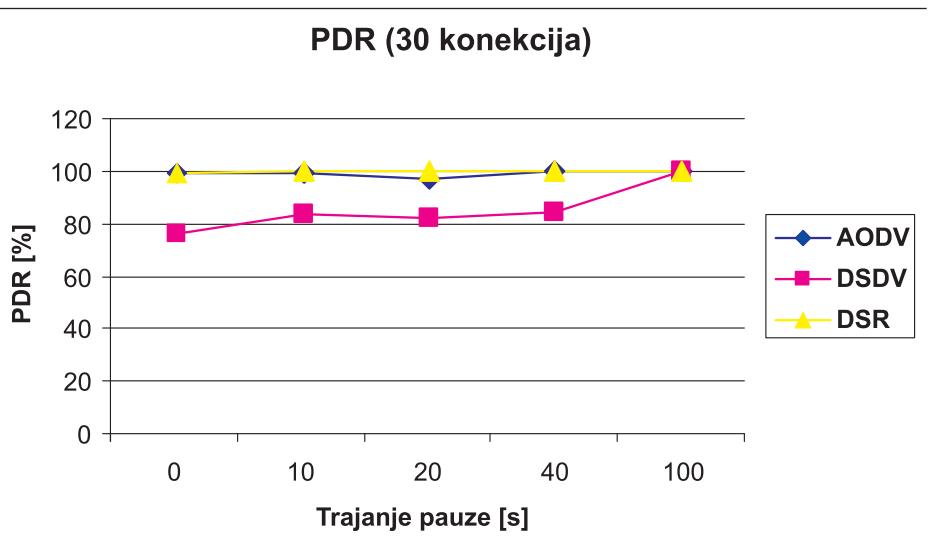


Slika 6.
PDR za 10 konekcija

kao AODV i DSR kada se čvorovi u mreži ne kreću (pauza 100 sekundi), što znači da ovaj protokol nije pogodan za mobilnu *ad hoc* mrežu (Slika 6., 7. i 8.). Analizirajući prosječno kašnjenje paketa s kraja na kraj, dolazimo do zaključka da je DSR protokol usmjerenja nadmašio DSDV i AODV protokole za razliku od rezultata dobivenih u [5], gdje najbolje performanse ima AODV protokol usmjerenja (Slika 9., 10. i 11.). Kod AODV protokola za svaku promjenu mrežne topologije čvorovi moraju slati RREQ pakete, odnosno mora se pokrenuti proces pronašlača puta, jer AODV protokol je protokol usmjerenja koji nema putanju na raspolaganju kada se za njom ukaže potreba, tj. on je „na zahtjev“ protokol. Upravo zbog neefikasnog održavanja puta prosječno kašnjenje s kraja na kraj

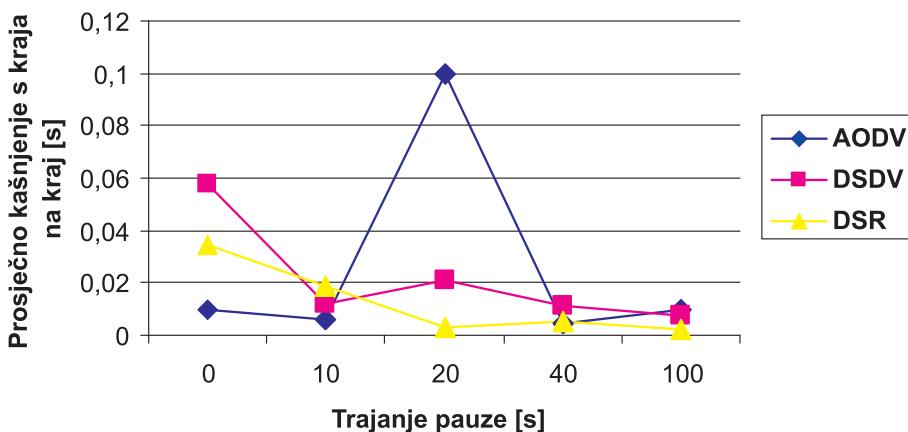


Slika 7.
PDR za 20 konekcija

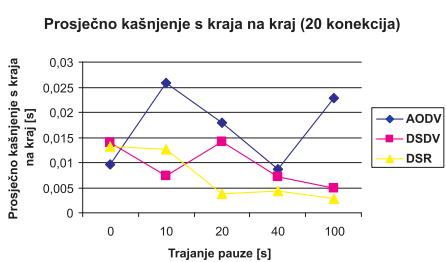


Slika 8.
PDR za 30 konekcija

Prosječno kašnjenje s kraja na kraj (10 konekcija)

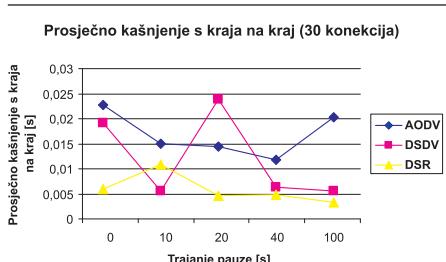


Slika 9.
Prosječno kašnjenje s kraja na kraj za 10
konekcija

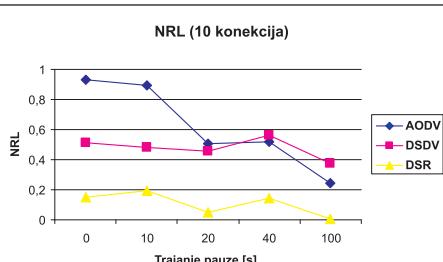


Slika 10.
Prosječno kašnjenje s kraja na kraj za 20
konekcija

za AODV je najlošije. Protokol DSDV svaki puta kada se promjeni mrežna topologija ne mora slati RREQ tako često kao AODV i DSR, jer proaktivno čuva putanje do svih odredišta u svojoj tabeli. Međutim, protokol DSR s obzirom da koristi izvorišno usmjeravanje i memoriranje puteva, te ne ovisi od periodičnih aktivnosti i održava višestruke puteve do odredišta, ima najbolje performanse. Naročito se ističe kada je pokretljivost čvorova u mreži mala, što znači da u slučaju kada je topologija stalna, putanje nisu zastarjele i to rezultira najboljim promatranim performansama. Kada je mali broj konekcija u mreži, AODV i DSDV protokoli imaju slično prosječno kašnjenje s kraja na kraj kao i DSR protokol, naročito kada je pokretljivost slaba. U tom slučaju, mreža je manje opterećena, pa kod AODV protokola manje čvorova šalje RREQ



Slika 11.
Prosječno kašnjenje s kraja na kraj za 30
konekcija



Slika 12.
NRL za 10 konekcija

pakete. Međutim, sa povećanjem broja konekcija, opterećenje u mreži je veće, te prosječno kašnjenje s kraja na kraj za protokole AODV i DSDV je veće.

Protokol DSR u svim slučajevima, bez obzira na pokretljivost ili broj konekcija, pokazuje značajno manje opterećenje usmjeravanja nego AODV ili DSDV protokoli, što pokazuje tabela 1. i slike 12., 13. i 14. Veliki doprinos opterećenju AODV protokola dolazi od RREQ paketa, dok veliki doprinos opterećenju DSR protokola dolazi od RREP paketa. Osim toga, AODV ima više RREQ paketa nego DSR, dok DSR ima veći broj RREP paketa. Protokol DSDV ima NRL manji od AODV protokola, a veći od DSR protokola.

U slučaju visoke pokretljivosti prekidi veza se dešavaju veoma često. Prekidi veza iniciraju pronalaske novih putanja u AODV protokolu, jer ima najviše jednu putanju po odredištu u svojoj tabeli usmjeravanja. Dakle, učestalost pronalazaka putanje u AODV protokolu je direktno proporcionalna broju prekida puteva. Reakcija DSR protokola na prekid veza je u usporedbi blaga i uzrokuje rjeđe pronalaske putanja. Razlog je mnoštvo memoriranih putanja na svakom čvoru. Dakle, pronalazak putanje se otkazuje u DSR protokolu sve dok se sve memorirane putanje pokažu neadekvatnim.

V ZAKLJUČAK

Protokoli AODV i DSR koriste reaktivno „na zahtjev“ usmjeravanje, dok DSDV protokol koristi „tabelarno upravljanje“ proaktivno usmjeravanje. U slučajevima visoke pokretljivosti DSR protokol usmjeravanja ima bolje performanse nego AODV i DSDV protokoli usmjeravanja, neovisno o broju konekcija u mreži. Visoka pokretljivost rezultira čestim prekidima veza, a nekorisni teret uključen u ažuriranje svih čvorova sa novom usmjerivačkom informacijom je manji kod DSR protokola usmjeravanja, nego kod DSDV i AODV protokola usmjeravanja. Protokol DSDV vrši periodično ažuriranje tabela usmjeravanja i u slučajevima kada nema izmjena mrežne topologije, a AODV protokol ima neefi-

	10 koneksiја			20 koneksiја			30 koneksiја		
	Poslani paketi	Paketi usmjeravanja	Izgubljeni paketi	Poslani paketi	Paketi usmjeravanja	Izgubljeni paketi	Poslani paketi	Paketi usmjeravanja	Izgubljeni paketi
AODV [0]	2228	2045	25	3421	3149	46	4637	3262	58
DSDV[0]	2221	722	818	3398	715	1099	4623	715	1127
DSR [0]	2215	334	32	3433	859	29	4611	832	29
AODV [10]	2229	1973	27	3424	2866	31	4587	3467	42
DSDV[10]	2246	755	657	3401	757	800	4613	762	835
DSR [10]	2237	434	13	3411	671	36	4605	911	8
AODV [20]	2224	1109	41	3420	2566	30	4600	3018	30
DSDV[20]	2240	806	481	3395	804	741	4624	833	829
DSR [20]	2235	108	0	3410	216	5	4594	406	17
AODV [40]	2223	1152	11	3422	2360	30	4608	2493	20
DSDV[40]	2235	794	518	3433	786	703	4601	772	751
DSR [40]	2216	315	13	3402	432	8	4608	682	13
AODV [100]	2214	540	1	3396	837	1	4566	1235	0
DSDV[100]	2227	837	13	3433	833	12	4590	844	12
DSR [100]	2230	20	0	3407	61	0	4585	104	0

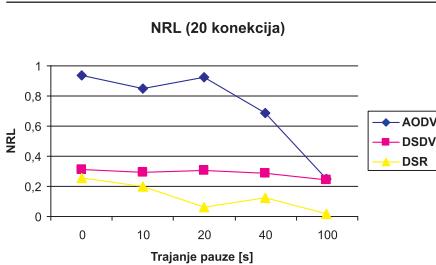
Tabela 1. Broj poslanih paketa, paketa usmjeravanja i izgubljenih paketa za sve razmatrane slučajeve

kasno održavanje puta, jer mora pokrenuti proces pronašlaska putanje za svaku promjenu mrežne topologije. Proces pronašlaska puta koriste i AODV i DSR protokol usmjeravanja, ali sa različitim mehanizmima usmjeravanja. Protokol DSR koristi izvorišno usmjeravanje i memoriranje puteva, te ne ovisi o bilo kakvo periodičnoj ili vremenski zasnovanoj aktivnosti. Protokol AODV koristi tabele usmjeravanja, jednu za svako odredište, te odredišne redne brojeve kao mehanizam za prevenciju petlji i određivanje svježine puta.

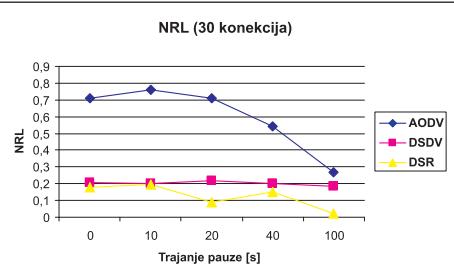
Iz rezultata simulacija zaključujemo da u scenarijima slabe pokretljivosti i opterećenja AODV, DSDV i DSR protokoli reaguju na sličan način, dok sa povećanjem pokretljivosti ili opterećenja DSR nadmašuje AODV i DSDV protokole usmjeravanja. Sa povećanjem pokretljivosti performanse DSR protokola usmjeravanja, također, slabe, ali to se pripisuje agresivnoj upotrebi memoriranja i nedostatku mehanizma za uklanjanje zastarjeлиh putanja ili ažuriranja putanja kada su raspoložive višestruke putanje.

LITERATURA

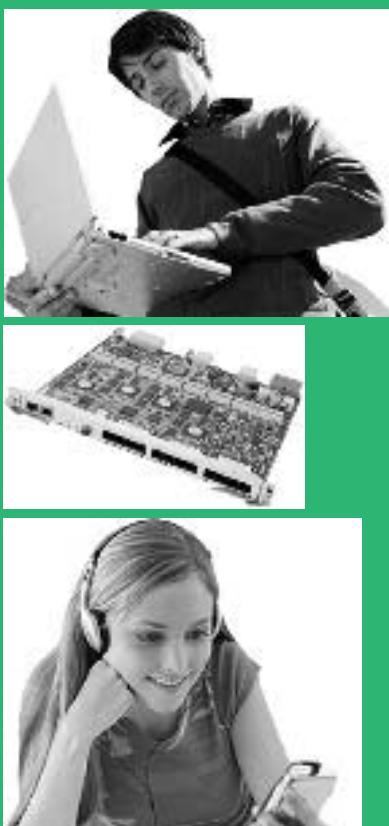
- [1] The Network Simulator - NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [2] C. E. Perkins and P. Bhagwat, „Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers,“ in *Proc. ACM SIGCOMM Conference (SIGCOMM '94)*, August 1993, pp. 234-244.
- [3] C. E. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, „Ad Hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing,“ in *Internet Engineering Task Force (IETF) draft*, July 2003.
- [4] J. Broch, D. Johnson, and D. Maltz, „The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks,“ in *Internet Engineering Task Force (IETF) draft*, 1999.
- [5] S. Shah et al, „Performance Evaluation of Ad Hoc Routing Protocols Using NS2 Simulation,“ presented at the *Conf. of Mobile and Pervasive Computing*, 2008.



Slika 13.
NRL za 20 koneksiја



Slika 14.
NRL za 30 koneksiја



SITRONICS Telecom Solutions BH d.o.o. Sarajevo je domaća firma koja proizvodi široki spektar telekomunikacijske opreme i IS, koji se zasnivaju na modernim tehnologijama i vlastitim tehnološkim istraživanjima. SITRONICS Telecom Solutions BH d.o.o. je novo ime firme BS telecom d.o.o. koja je osnovana 2002 godine i od tada uspješno posluje na prostoru Bosne i Hercegovine i inostranstva. Firma je integrisana u razvojni sistem SITRONICS Telecom Solution, Czech Republic a.s. Firma zapošljava 50 mladih stručnjaka od kojih je 95% visokoobrazovanih.

Polje djelovanja:

- razvoj softvera za telekomunikacione i informacione sisteme
- dizajn elektronskih ploča
- instalacija i održavanje telekomunikacionih i informacionih sistema

SITRONICS Telecom Solutions BH zapošljava tim profesionalaca koji su orijentirani ka budućnosti i otvoreni za nove ideje, tehnologije i rješenja.



telekom dd.

Unis Telekom dd Mostar

Dr Ante Starcevica 50

tel 036 314 407 fax 036 314 408

www.unistelekom.ba unis@unistelekom.ba



Kvalitet servisa u IP/MPLS mrežama

Quality of Service in IP/MPLS networks

Sažetak

Motiv za obradu teme „QOS u IP/MPLS mrežama“ se krije iza činjenice da je prisutan sve veći rast interesa i potrebe za implementacijom sistema koji mogu unaprijediti kvalitet servisa u mrežama nove generacije. QOS se pojavio kao ključni zahtjev u IP/MPLS mrežama, koje su postale omiljena tehnološka platforma za gradnju konvergentnih mreža sposobnih podržati različite servise.

Ključne riječi: IP, MPLS, QOS, Diffserv, propusni opseg, kašnjenje paketa, jitter, gubitak paketa, SLA

Abstract

The motivation behind this writing is the continued interest in the implementation of quality of service(QoS) in IP/MPLS networks. QoS arises as a key requirement for these networks, which have become the preferred technology platform for building converged networks that support multiple services.

Keywords: IP, MPLS, QOS, Diffserv, bandwith, delay, jitter, loss, SLA

1. UVOD

Postoji više razloga za uvođenje QOS-a, a najveći je proboj novih servisa na tržište telekomunikacija. Svaki od tih servisa ima određene zahtjeve spram kvalitete o pitanju prijenosa podataka između tražioca usluge i onoga ko pruža tu uslugu. Ovi zahtjevi ogledaju se u praćenju parametara navedenih u Tabeli 1., i pokušajima da se oni prilagode, što je moguće više, potrebama servisa koji se pruža.

Sljedeći parametri mogu utjecati na kvalitet servisa:

- Propusni opseg (Bandwidth),
- Kašnjenje paketa (Delay),
- Varijacija kašnjenja paketa (Jitter),
- Gubitak paketa (Loss).

Bandwidth (širina propusnog opsega) jeste pojam koji se odnosi na maksimalan broj bita u sekundi koje je moguće prenijeti putem nekog fizičkog medija. Ovaj parametar je naročito bitan kod isporuke IPTV servisa, jer pri isporuci MPEG-2 kodiranog signala potrebno je obezbijediti čak do 10 Mbps.

Kašnjenje pri prijenosu podataka je uobičajena pojava, ali se mora težiti njegovoj minimalizaciji. Ovaj parametar se sastoji od više podnivoa:

- Serijalizacijsko kašnjenje – prilikom enkodiranja bita za sami fizički medij;
- Propagacijsko kašnjenje – prilikom prijenosa podataka između dvije tačke, potrebno je neko vrijeme da se taj prijenos obavi.

Dva navedena parametra mogu se posmatrati kao uvijek prisutni (fiksni), a postoje još i varijabilni parametri:

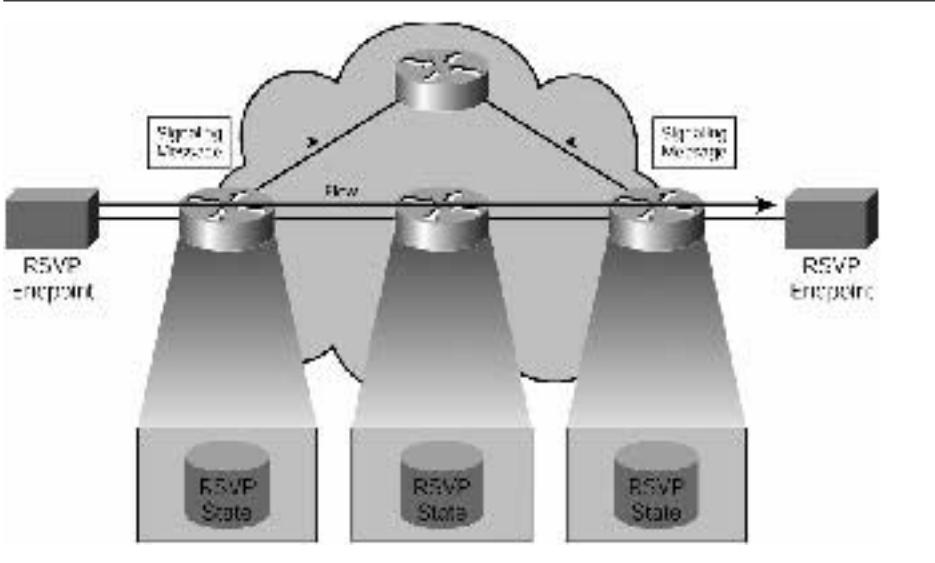
- Queuing delay,
- Processing delay,
- Codec delay,
- Compression delay,
- Network delay.

Kašnjenje ovisi i o veličini paketa koji se šalje putem fizičkog medija, i to tako što je paket veći i kašnjenje je veće. Ovo se dešava primarno zbog serijalizacijskog kašnjenja. Kao primjer u Tabeli 1. je navedeno kašnjenje na različitim linkovima i dužinama linka, s dva paketa veličina 125 i 1500 bajta.

Broj sa slike	Dužina linka	Clock Rate linka	Propagacijsko kašnjenje (milisekunda - ms)	Serijalizacijsko kašnjenje (125-bajta paket; ms)	Serijalizacijsko kašnjenje (1500-bajta paket; ms)
1	50 m	100 Mbps	.002	.01	.12
2	10 m	100 Mbps	.0004	.01	.12
3	1000 km	56 kbps	4.8	17.85	214
4	5 km	128 kbps	.024	7.8	94
5	1000 km	44.232 Mbps	4.8	.02	.24
6	10 km	1.544 Mbps	.048	.65	7.8

Tabela 1.

Kašnjenje u zavisnosti od tipa linka, udaljenosti i veličine paketa



Slika 1.
Primjer IntServ mreže

U praksi, SP-i koji daju uslugu VOIP-a, u SLA ugovorima obavezuju se da kašnjenje neće biti veće od cca 50ms, iako je, prema preporeci ITU-T G.114, gornji prag 150 ms u jednom smjeru.

Jitter ili varijacija kašnjenja (podrhtavanje ivice dolaznog impulsa) jeste uobičajena pojавa u paketskim mrežama. Pitanje je samo do koje mjeru jitter može utjecati, da servis ne bude degradiran. Aplikacije mogu podnijeti određen nivo jittera, ali postoje neke primjene gdje se posebno mora обратити pažnja, a to su prijenos videa, i u najvećoj mjeri prijenos glasa.

Za VOIP SLA ugovori za Jitter obično su reda 1 ms, mada u praksi mjereno je reda 0,1 ms.

Gubitak paketa – u paketskim mrežama, routeri ispuste/ponište/izgube određen broj paketa iz mnogih razloga, a za većinu njih QOS ne može ništa uraditi. Naprimjer, frejmovi koji ne produ FCS (Frame Check Sequence) se odbacuju, i tu se ništa ne može uraditi. U današnjim mrežama BER je prilično minimiziran (reda 10–9), i u manjoj mjeri utječe na odbacivanja paketa, dok u većoj mjeri utječu prepuni bufferi ili mehanizmi Queueing.

Tipični SLA ugovori ovog parametra za VOIP je reda 0,1–0,5%, ali mjerene vrijednosti su reda 0,01%.

2. IP/MPLS QOS ARHITEKTURA

U svojoj osnovi IP je zamišljen kao BE protokol. Jedna od posljedica ovoga je da će mreža isporučiti saobraćaj do odredišta u najkraćem mogućem vremenu, ali bez ikakve garancije.

Ispocetka je ovo bilo sasvim dovoljno, jer aplikacije nisu bile interaktivne, pa je bilo moguće prihvati veće varijacije parametara kvalitete sevisa. No, s pojavom aplikacija nove generacije, ova slika se potpuno mijenja. IP protokol je omasovljen, ali isto tako su i prošireni zahtjevi spram ovih mreža da podrže real-time prirodu i ograničenu toleranciju spomenutih varijacija.

IETF je 1990 počeo s definiranjem arhitekture za QOS, i od tada postoji dvije: Integrated Services (IntServ) i Differentiated Services (DiffServ). IntServ je inicijalno predložen, ali arhitektura koja je zaživjela je DiffServ. Naknadno je MPLS inkorporirao podršku za DiffServ, koja je prvenstveno bila namijenjena za IP od IETF-a. Ove dvije koriste različite pristupe da se dođe do kvalitete servisa za IP. Iako se čini da su to kompetitivne tehnike, one se zaista nadopunjavaju, a čak su i mehanizmi manipulacije nad protokom podataka isti u obje arhitekture.

INTSERV

IntServ je radna grupa u okviru IETF-a odgovorna za razvoj ove specifikacije. Vrlo blizak odnos ima s radnim grupama „IntServ ove specific Link Layers“ (ISSLL) i „Resource Reservation Protocol“ (RSVP). IETF strategija je bila modificirati IP arhitekturu da podrži real-time aplikacije. Postojale su i jednostavnije varijante, ali nisu predstavljale zadovoljavajuća rješenja. Kao primjer mogu poslužiti:

- Fair Queuing algoritmi su riješili probleme odnosa real-time aplikacija i podataka, ali nisu mogli garantirati kašnjenje i jitter.
- Korištenje odvojenih mreža za pojedine servise je loše i nefikasno.
- Jednostavniji mehanizmi prioretizacije nisu mogli zadovoljiti rastući broj

INDEKS POJMOVA I SKRAĆENICA

BA – behaviour aggregate
BE – best effort
MPLS – Multiprotocol label switching
PHB – per hop behaviour
RFC – Request for comments (tijelo IETF-a)
SP – Service Provider
SLA – Service level agreement
TE – traffic engineering
VoIP – Voice over IP
QOS – Quality of service

aplikacija koje uzrokuju degradaciju protoka.

IntServ terminologija i principi:

- Flow-predstavlja niz podataka koje mrežni čvor pridružuje s istim zahtjevima za QOS
- Traffic Specification (TSPEC) – Karakterizacija modela saobraćaja u vremenu. Uključuje i token bucket algoritamske parametre. Ideja je da se pristiglim paketima daje po jedan token, a u slučaju da ih nema, paket bez tokena ne može biti poslan. Tako brzina dodjele tokena predstavlja prosječnu brzinu protoka saobraćaja. Parametri TSPEC su r-token rate (frekvencija dodjele tokena), b-bucket size (broj tokena), p-peak rate (flow maximum), m-minimum policed unit, M-maximum packet size. Na osnovu ovih parametara kreira izgled saobraćaja.
- Service request spec. (RSPEC) – Karakterizacija QOS na osnovu željenog flowa. Specificira zahtjeve za flow, koji može biti BE (bez rezervacije za FTP,HTTP i sl.), ili specifičan zahtjev s određenim nivoom garancije. Ukratko, određuje koje je garancije neophodno obezbijediti za pojedini flow.
- FlowSpec – kombinacija prethodna dva, koristi se kao ulaz za odluke ACD (admission control decision)

Osnovni princip je rezervacija resursa. Ovaj zahtjev za rezervacijom povlači AC (admission control) da upravlja određenim brojem resursa. IntServ čvorovi u mreži moraju izbjegći neautorizirane zahtjeve ili zahtjeve koji mogu narušiti već postojeće rezervacije. Različiti tipovi korisnika imaju različita prava za rezervacijom mrežnih resursa. U dodatku, mrežni protok mora biti kontroliran da li može omogućiti kvantitativne specifikacije QOS zahtjeva u postojećem flowu.

Ova arhitektura definira flow kao osnovnu jedinicu servisa, i to kao unidirekcionalni. Može imati jedan izvor i više destinacija. IntServ zahtjeva korištenje per-flow stanja u mrežnim čvorovima (routerima). Ovo proizlazi iz granularnosti flowa i korištenja RSVP-a i AC-a. Postojanje mrežnih čvorova koji održa-

RFC 791	0 1 2	3 4	5 6	7	
	Precedence	D T	R	0 0	
	Precedence	Delay (D)	Throughput (T)	Reliability (R)	
	111 – Network Control	0 – Normal	0 – Normal	0 – Normal	
	110 – Internetwork Control	1 – Low	1 – High	1 – High	
	101 – CR/TIC / ECP				
	100 – Flash Overhead				
	011 – Flash				
	010 – Immediate				
	001 – Priority				
	000 – Routine				
RFC 1349	0 1 2	3 4	5	6 7	
	Precedence		TOS		0
	Precedence		TOS Field		
	111 – Network Control		10000 – minimum delay		
	110 – Internetwork Control		00000 – maximize throughput		
	101 – (1111 / 1101)		00010 – minimize latency		
	100 – Flash Overhead		00001 – minimize monetary cost		
	011 – Flash		00000 – normal service		
	010 – Immediate				
	001 – Priority				
	000 – Routine				
RFC 2460	0 1 2	3 4	5 6	7	
	Traffic class				

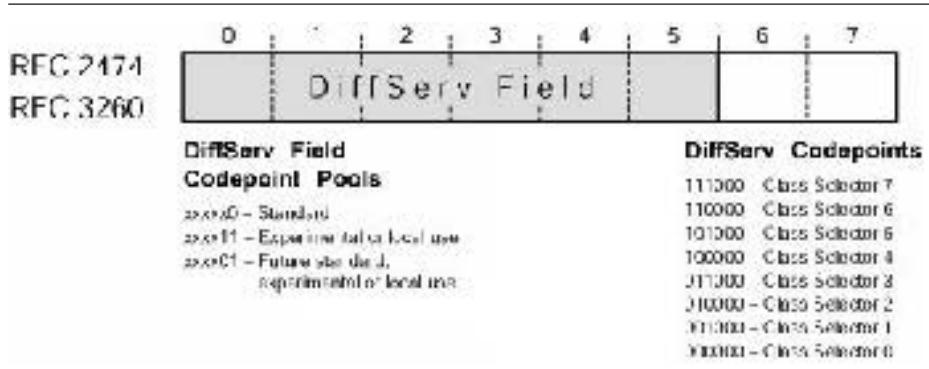
Slika 2.
Zaglavlj IP paketa koje omogućava korištenje DiffServ

vaju per-flow stanje predstavlja značajnu promjenu u odnosu na originalnu IP arhitekturu koja ovaj problem prepušta isključivo krajnjim mrežnim čvorovima. Ova arhitektura preporučuje da se koristi signalizacijski protokol za podešavanje i osvježavanje informacija o stanju flowa, u svrhu očuvanja jasnoće (snage) IP protokola.

DiffServ

Radna grupa sa zadatkom da razvije arhitekturu s jednostavnijim QOS pristupom koji se može aplicirati na IP i Ipv6, počela je s radom 1998. godine. U samom svom početku su isključeni identifikacija mikroprotoka i mehanizmi signalizacije, čime je napravljena jasna distanca od pristupa IntServ.

DiffServ arhitektura zasniva se na definiranju klasa saobraćaja s različitim servisnim zahtjevima. Zaglavlj paketa sadrži informaciju o klasifikaciji saobra-



Slika 3.
DiffServ polje, DSCP poolovi, codepointi

ćaja. Svaki naredni čvor u mreži ispituje zaglavljje paketa, identificira o kojoj klasi saobraćaja je riječ i alocira mrežne resurse u skladu kako je definirano s lokalnim servisnim polisama. Servisne karakteristike su unidirekcionale s kvalitativnim opisom u smislu kašnjenja, jittera i gubitka. DiffServ čvorovi sa aspekta QOS nemaju znanja o pojedinim tokovima saobraćaja. Koncept grupiranja ili agregacije saobraćaja u manji broj „klasa“ je svojstven za DiffServ. Ova arhitektura u svojoj osnovi pravi kompromis između granularnosti i skalabilnosti.

I prijašnje specifikacije IP protokola su planirale određeni broj bita u zaglavljju paketa za OOS svrhe. Kod IP je to bio TOS iz preporuke RFC791, a u IPv6 RFC 2460. Između njih postoji i preporuka RFC1349, koja je u svojoj osnovi isto što i RFC 791, samo s bitom više koji predstavlja cijenu-cost bit. Ove specifikacije su na Slici 2.

DiffServ arhitektura redefinira Ipv4 TOS polje i Ipv6 Traffic class polje. RFC 2474 i RFC 3260 predstavljaju DiffServ polje kao šest najznačajnijih bita u Ipv4 i Ipv6 Traffic Class oktetima. Pojedinačne vrijednosti DiffServ polja predstavljaju DSCP (Differentiated Services Code Point), a sve ovo je detaljno opisano na Slici 3. U svakom mrežnom čvoru dolazeći paketi se servisiraju prema vrijednosti ovog parametra. Grupa paketa koji dijele isti DSCP i prelaze preko istog linka u istom smjeru čine BA (Behavior aggregate). Klasa saobraćaja može uključivati više ovakvih BA.

Sa Slike 3. se vidi da postoji više polova koji se mogu formirati od ovih 6 bita. Dio njih je namjerno izostavljen u

eksperimentalne ili druge svrhe. Bitno je napomenuti da DiffServ polje ni na koji način nije kompatibilno s TOS poljem iz RFC 791 i njihovom vezom s parametrima D (delay), T (throughput) i R (Reliability).

DiffServ arhitektura je definirana kao hijerarhija koja počinje od pojedinog uređaja, pa putem mreže do grupe mreža. Grupa mrežnih čvorova – nodes, sa zajedničkom DiffServ implementacijom servisnih definicija i polisa, čine mrežni domen. Domen je obično pod jednom administrativnom kontrolom. Grupa međusobno bliskih domena čine DiffServ region. Domeni iz istog regiona moraju omogućiti DiffServ za prebacivanje saobraćaja u različite domene istog regiona. Pojedine domene mogu koristiti različite definicije servisa, polisa i markiranja paketa. U ovim slučajevima domene moraju imati dogovor, odnosno specifikaciju kako tretirati saobraćaj u različitim domenima.

Dvije glavne vrste čvorova u ovim mrežama su granični i interni čvorovi u mreži. Uobičajen naziv za njih je LER-label edge routers i LSR-label switch routers, respektivno. Zadatak LER-a je da prihvati paket na ivici MPLS mreže, dodaje labelu prema zadanoj klasifikaciji saobraćaja i polisama definiranim na istom i prosljedi ga do niza LSR-a, koji vrše rutiranje paketa kroz MPLS mrežu, isto tako na osnovu istih lokalnih servisnih polisa koje su u skladu s markacijom paketa.

Klasifikacija saobraćaja identificira se kao saobraćaj koji će primiti odgovarajući DiffServ tretman, a da bude u skladu sa servisnim ugovorom. Vanjski čvorovi povezani s DiffServ domenom imaju usaglašene tačke ugovora, tako da su zadovoljeni SLA zahtjevi. Ove tačke ugovora se implementiraju u MPLS mreži kao klasifikacija paketa, markacija, polise.

Klasifikacija se vrši na dva načina:

- BA klasifikacija – koristeći polje DSCP u zaglavju paketa;
- MF (multifield) klasifikacija – koristeći jedan ili više polja iz zaglavja paketa (npr., Izvornu IP adresu, destinacijsku IP adresu, protokol, izvorni

port, destinacijski port) ili druge informacije, kao što je ulazni interfejs.

Finalni rezultat klasifikacije paketa je pridruživanje klase svakom od njih. Ova arhitektura ne koristi data payload kao ulaz za klasifikaciju paketa, iako postoji mehanizmi putem kojih se može i to uraditi.

Nakon klasifikacije vrši se tzv. Conditioning paketa u skladu sa SLA. Ovo uključuje kombinaciju jednog ili više sljedećih mehanizama:

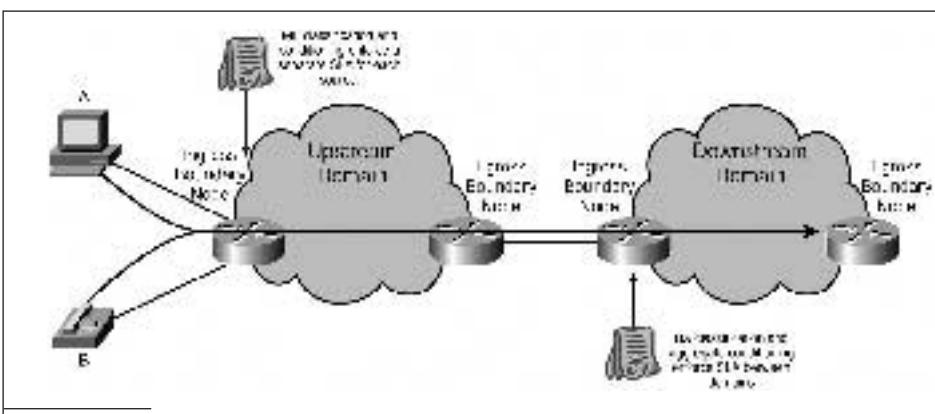
- Metering,
- Marking,
- Policing,
- Shaping.

Ulagani podatak predstavlja klasifikacija, a upravo od klase zavisi šta će se raditi s tim paketom u smislu conditioninga. SLA ugovori obično definiraju količinu saobraćaja koju će LER prihvati iz svake klase. U tom slučaju, LER vrši mjerjenje saobraćaja i donosi odluku o markaciji, baferovanju ili ispuštanju paketa. Postavlja se i DSCP za svaki paket na odgovarajuću vrijednost.

Klasifikacija i conditioning se mogu dešavati na različitim tačkama paketnih tokova. Generalno gledajući, dešava se na graničnim tačkama (LER). Ali ova tehnologija ne onemogućava da taj posao urade i LSR, ukoliko ima potrebe.

Slika 4. prikazuje kako se prihvata saobraćaj iz A i B, klasifikacija se vrši na osnovu MF parametara. Nakon što se u prvoj domeni postave DSCP vrijednosti, taj saobraćaj može biti prihvaćen u drugoj domeni, ukoliko postoji dogovor između njih i na odgovarajući način biti tretiran. Sa Slike se vidi da u drugoj domeni koriste BA klasifikatori.

DiffServ arhitektura definira PHB (per hop behaviour) kao skup pravila kako će se mrežni čvor ponašati prilikom prijema BA i koje mu mogućnosti dodijeliti, i na koji način se ophoditi sa istim. PHB predstavlja kvalitativni opis za kašnjenje, jitter ili loss karakteristike koje BA osjeti prilikom prolaska DiffServ čvorova. Mapiranje paketa prema PHB se vrši u skladu s DSCP vrijednostima. Ukoliko domen ne koristi preporučene vrijednosti mapiranja DSCP-PHB, saobraćaj prilikom ulaska u takav domen



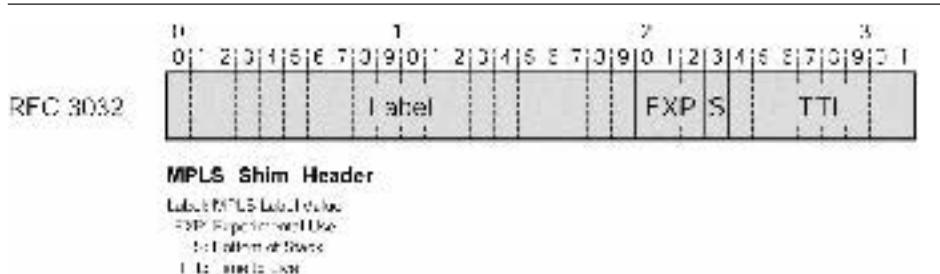
Slika 4.
Ilustracija SLA kroz dvije DiffServ domene

mora proći proces klasifikacije ispočetka, što ide u prilog potrebi da se koriste preporučene vrijednosti za PHB.

MPLS podrška za QOS

MPLS podrška za IntServ ostaje ne-definirana. Iako RSVP može obaviti MPLS distribuciju labele, to ne implicira izravnu podršku za IntServ. IntServ arhitektura je u skladu sa RSVP, ali mogućnosti signalizacije protokola idu dalje od IntServ zahtjeva. IntServ bi radilo odlično u manjim okruženjima, ali ukoliko ga skaliramo na veliku mrežu kao što je Internet, bilo bi teško pratiti sve rezervacije koje su napravljene na ogromnom broju mrežnih čvorova. Iz ovog razloga IntServ nije popularan, mada IETF još pokušava napraviti specifikaciju koja će odgovoriti na spomenute zahtjeve, ali uz ograničene IntServ mogućnosti (RFC 1633, 2210, 2211, 2212, 2215).

MPLS podržava DiffServ sa minimalnim prilagođenjima za obje arhitekture. MPLS ne mijenja koncept traffic-conditioning i PHB definiranih u DiffServ. LSR koristi iste traffic-management mehanizme (metering, marking, shaping, policing, queuing...) da formira i implementira različite PHB za MPLS saobraćaj. MPLS može koristiti TE (traffic engineering) da dopuni DiffServ arhitekturu. RFC 3270 definira MPLS podršku za DiffServ. Implementacija DiffServ u MPLS mrežama omogućava podršku širokom dijapazonu QOS zahtjeva i servisa. U MPLS mreži može biti i drugih tipova saobraćaja osim IP (kao ATM i



Slika 5.
MPLS header

E-LSP	L-LSP
Jedna ili više klasa po LSP-u	Jedna klasa po LSP-u
PHB ovisi samo o EXP polju	PHB ovisi o labeli i EXP polju
Signalizacija optionalno	Signalizacija zahtijevana

Tabela 2.
Poređenje E-LSP-a i L-LSP-a

Frame relay), a DiffServ implementacija brine o tome da se podrže PHB spram QoS zahtjeva neovisno o kojem je tipu saobraćaja riječ. S rastom MPLS mreže DiffServ arhitektura može se bez velikih problema prilagoditi, što je i omogućilo pristup ove arhitekture tržištu i uslovilo njen prihvrat.

MPLS podrška za DiffServ podrazumijeva dva tipa LSP-a (label switch path) sa sebi svojstvenim karakteristikama i operacijama. Prvi, E-LSP može prenositi istovremeno više klase saobraćaja, a drugi L-LSP prenosi samo jednu klasu saobraćaja. Oni počivaju na različitim mehanizmima za enkodiranje DiffServ markacije paketa. MPLS koristi enkodiranje steka labele bazirano na RFC 3032. Izgled MPLS headera prikazan je na Slici 6.

E-LSP se definira kao tip LSP-a kojim se simultano prenosi više klase saobraćaja. U ovom slučaju se koristi EXP polje u shim headeru da se zaključi koji PHB taj paket zahtijeva. To polje sadrži tri bita, odnosno 8 vrijednosti, što se vidi sa Slici 5. Ovo znači da E-LSP može transportirati do 8 klasa servisa, ali je to obično manje jer neke od klase mogu koristiti više markacija. Specifikacija ne definira tačnu strukturu polja EXP, a LSR mogu podešavati E-LSP puteve s rezervacijom bandwitha (u svrhu admission control).

Na Slici 6. je prikazana mreža koja koristi E-LSP, i to dva između čvorova A i D. Mreža podržava tri klase EF, AF1 i AF2 (oznake koje predstavljaju klase PHB-a mapirane u odnosu na DSCP) i to tako da prvi LSP nosi EF klasu, a drugi LSP multipleksira saobraćaj ove tri klase. Svi mrežni čvorovi vrše PHB determinaciju baziranu na EXP vrijednosti paketa.

U MPLS podršci za DiffServ se definiraju mehanizmi za E-LSP koji signaliziraju mapiranje EXP vrijednosti i

PHB. Ovo mapiranje je dvosmjerno, u zavisnosti radi li se o ulaznoj ili izlaznoj labeli. LSR-i mogu koristiti statička, ali konfigurabilna mapiranja ukoliko se želi izbjegći dodatne signalizacije definirane u RFC 3270.

Ukoliko je riječ o ATM ili FR mrežama, interfejsi ne prosleđuju pakete koristeći enkapsulaciju MPLS zaglavljva. To znači da se ne koristi polje EXP, pa zbog toga ovi uređaji nemaju podršku za E-LSP.

L-LSP je podržan na način da transportira samo jednu klasu saobraćaja preko jednog LSP-a. LSR donosi odluku o klasi paketa iz labele i definira tačan PHB, koristeći labelu u kombinaciji sa EXP poljem, i to kao

<class, EXP>=PHB

Naprimjer, klasa AF4, EXP 3 =>PHB=AF43. L-LSP zahtijeva korištenje DiffServ signalizacijskog proširenja. Na Slici 7. je prikazana MPLS mreža koja koristi L-LSP. U ovom slučaju se četiri LSP-a između A i D čvorova. Tri klase saobraćaja EF, AF1 i AF2, svaka koristi zaseban LSP, a EF koristi dva jer ima najveći prioritet.

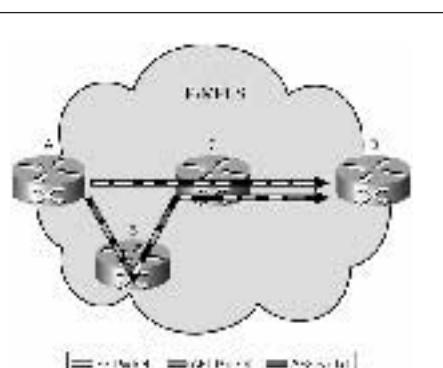
Čvor C identificira EF saobraćaj prema labeli, neovisno kojim putem dolazi, već isključivo prema klasi i tako ga i treći.

Korištenje ovih dvaju pristupa nije uzajamno isključivo. Osnovne razlike između njih date su u Tabeli 4.

MPLS može koristiti istovremeno L-LSP i E-LSP.

ATM LSR i Frame Relay LSR ne prosleđuju pakete koristeći MPLS shim header enkapsulaciju. Ovo povlači nedostatak EXP polja, ali ovi uređaji, ipak, mogu podržati njihovom prirodnom enkapsulacijom, implementaciju L-LSP-a. ATM koristi ATM CLP (Cell Loss Priority) za PHB determinaciju, a Frame Relay koristi DE bit. Detaljno o tome govori RFC 3270.

Postoje tri modela tuneliranja koji definiraju MPLS podršku za DiffServ, odnosno interakcije među DiffServ markacijama u različitim nivoima enkapsulacije. Jednostavan primjer za to je IP paket koji je već primio MPLS enkapsulaciju. Već postoji PHB informacija iz MPLS



Slika 6.
MPLS mreža i E-LSP

zaglavlja, ali i PHB iz Diffserv polja iz IP zaglavlja. Ti modeli su:

- Pipe,
- Short pipe,
- Uniform.

Traffic-management mehanizmi

Implementacija za QOS ultimativno se oslanja na mehanizme za menadžment saobraćaja. Evolucija paketskih mreža dovela je do velike ovisnosti o ovim mehanizmima. Ovi mehanizmi su omogućili da se mreže efektivno nose sa zagušenjima ili ih čak izbjegavaju. FR ili ATM mreže, također, mogu koristiti ove ili slične tehnike. Ovi mehanizmi predstavljaju gradivne blokove koje mrežni čvorovi koriste da implementiraju QOS, koristeći Diffserv ili Intserv arhitekture.

Klasifikacija saobraćaja se generalno obavlja prije apliciranja Traffic-management mehanizama. Nagomilani saobraćaj koji prolazi kroz mrežni čvor kombinira se s različitim QOS zahtjevima. U tom slučaju, mrežni čvor vrši klasifikaciju saobraćaja da omogući očekivani nivo diferencijacije. Pod klasifikacijom podrazumijevamo stateless (neovisno o kojem se saobraćaju radi) ispitivanje zaglavlja paketa. Ispitivanje paketa može biti i stateful (poznaje stanje o kojem je saobraćaju riječ), ali je to mnogo zahtjevniji proces koji zavisi od pojedinih uređaja na mreži.

Markacija saobraćaja uključuje dodjelu nove vrijednosti za polja u zaglavju paketa koja se odnose na QOS. Diffserv počiva na markaciji preko PHB vrijednosti za svaki paket. I layer2 tehnologije koriste isti princip markacije u QOS svrhe. Tabela 3. prikazuje detaljnije polja koja se koriste za markaciju, za razne tehnologije:

Pojam TP (Traffic Policing) se odnosi na shemu za kontrolu brzine protoka. Pod određenim okolnostima postoji potreba da se kontrolira količina pojedinačnih saobraćajnih povorki. Saobraćaj se mjeri i to mjerjenje se poredi s predefiniranim profilima. Od rezultata tog poređenja ovisi akcija koju će poduzeti tzv. *policer* na sami paket. Tri su glavne akcije koje policer može preduzeti: daljnji prijenos,

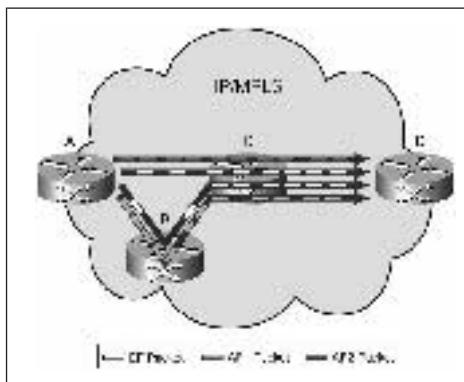
markacija i ispuštanje paketa. Pod markacijom se podrazumijeva daljnji prijenos nakon iste.

Proces Policinga je esencijalna funkcija u Diffserv okruženju, ali ga koriste i druge tehnologije, pa je postao vrlo popularan mehanizam na granicama među administrativnim domenima.

Kao osnovno sredstvo za opis profila saobraćaja koristi se *token bucket*. Dva su osnovna parametra *token rate* i *bucket size*, i predstavljaju brzinu pristizanja tokena, odnosno maksimalan broj tokena koje može bucket primiti. Algoritam je prilično jednostavan: „Policer“ konstantno dodaje tokene određenom brzinom (token rate). Prilikom dolaska paketa veličine B, „policer“ prvo gleda u bucket i ako ima B ili više tokena, izuzima ih iz bucketa, i izvrši unaprijed definiranu akciju nad paketom. U suprotnom se vrši druga akcija. Na Slici 8. prikazan je primjer triju povorki saobraćaja (10Mbps), ali s različitim vrijednostima za token bucket.

Postoje i unaprijeđene verzije sistema za traffic policing, ali većinom su zadržale isti princip. Također su razvijeni sistemi koji podržavaju i više brzina paketa u dolazu.

Shaping je često korišten mehanizam za kontrolu brzine protoka. Isto kao i „policer“, „shaper“ mjeri saobraćaj i poređi s profilom. U ovom slučaju, rezultat uzrokuje da „shaper“ izvrši kašnjenje paketa ili dozvoli dalje procesiranje. Zato ovaj mehanizam zahtjeva privremeno smještanje paketa (buffering) ili smještanje u red opsluživanja (queuing). Ovo može dovesti i do gubljenja paketa ako



Slika 7.
MPLS mreža koristi L-LSP

Polje zaglavlja	Veličina polja (bit)	Funkcija polja
IP Diffserv DSCP	6	PHB
MPLS EXP	3	PHB ili red ispuštanja
Ethernet VLAN	3	Queue selekcija
ATM CLP	1	Red ispuštanja
Frame Relay DE	1	Red ispuštanja

Tabela 3.
Polja za markaciju



Slika 8.
Tri povorke saobraćaja s istom brzinom,
ali s različitom veličinom bursta (broj
tokena)

povorka podataka drastično odstupa od profila. Efekti „shapinga“ su prikazani na sljedećoj slici:

Shaping može koristiti i token bucket za saobraćajni profil. Algoritam ostaje isti, ali u slučaju dolaska paketa veličine B, koja je veća od broja raspoloživih tokena, tada se paket smješta u red čekanja. Što je manji token bucket, to je više uobičjen saobraćaj na izlazu.

Pored klasifikacije saobraćaja, bitno je imati i mehanizme protiv zagušenja saobraćaja, poznatije kao *congestion management*. Alokacija Buffera i raspoređivanje saobraćaja su dva popularna mehanizma koja doprinose borbi sa zagušenjima. Ovo je vrlo korisno, npr. u slučaju da saobraćaj koji dolazi na interfejs prevazilazi brzinu koju isti podržava. Dolazi do zagušenja, i mora se izvršiti buffering ili queuing saobraćaja. „Scheduler“ odlučuje kako da opslužuje red čekanja, može kreirati više redova čekanja i svakom od njih omogućiti različitu alokaciju buffera ili bandwitha. Alokacija resursa, zajedno s metodom „scheduling“ omogućava različito kašnjenje, jitter i loss karakteristike u različitim redovima.

Zagušenje se može desiti u različitim tačkama u mrežnom čvoru, a svaka od njih predstavlja potencijalni izvor kašnjenja, jittera ili loss za saobraćajne nizove. Tačna lista ovih tačaka ovisi o arhitekturi samog uređaja i načinu na koji saobraćaj prolazi kroz sam uređaj.

Najjednostavniji pristup CM-u može biti jednostavni FIFO princip. Međutim, u nekom momentu red čekanja može biti prepunjjen, a tada će paket biti odbačen. Ovaj prilično jednostavan metod ograničava maksimalan iznos kašnjenja koji paket osjeti na tom interfejsu. Navest ćemo još neke metode koji se bave problematikom queuinga:

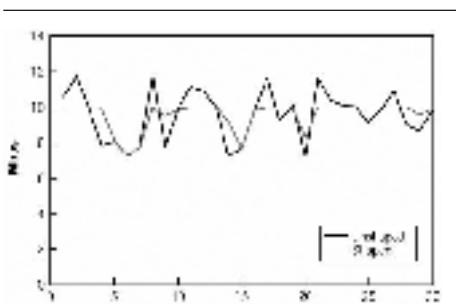
WFQ – *weighted fair queuing* je popularan metod za dijeljenje bandwitha. U ovom slučaju veći paketi će dobiti veći dio bandwitha. Idealno bi bilo da „scheduler“ vrši bit-po-bit analizu, ali prenose se paketi a ne pojedini biti. Na sljedećoj slici je prikazan princip WFQ s tri reda čekanja. Broj paketa identificira red u kojem je svaki paket stigao. „Scheduler“ reda pakete po vremenu njihovog dola-

ska, te ih tako i opslužuje. Prvi red ima težinu ravnu zbiru drugog i trećeg. Težina ima utjecaj dvostrukog reduciranja vremena dolaska za pakete u prvom redu. Zbog toga je obezbijedeno barem pola raspoloživog bandwitha za pakete u prvom redu čekanja, a ostalima se garantira po jedna četvrtina. Drugi red može dobiti i veći iznos bandwitha, ukoliko je neki od redova prazan. Na Slici 10. prikazan je detaljnije ovaj slučaj.

DRR (Deficit round robin) je alternativna metoda koja omogućava bandwith sharing. Slično kao i WFQ, za različite veličine paketa se mehanizam prilagođava i vrši utjecaj na distribuciju bandwitha. Ovaj tip je lakše hardverski implementirati i na većim brzinama ima bolje karakteristike. Ovaj pristup u osnovi ima kružni brojač koji održava vrijednost bajta za sve redove koji nisu prazni. Sa svakim krugom „scheduler“ uzima prvi pun red čekanja, dodaje quantum (bajt) vrijednosti deficit counter-a i poslužuje onoliko paketa koliko rezultat dozvoljava. Primjer je na Slici 11., isto za slučaj s tri reda čekanja.

Bitno je napomenuti da se ovaj proces usložnjava što je granulacija klasa saobraćaja veća. Aktualne implementacije „scheduler-a“ uključuju mogućnost da se saobraćaju dodjeljuje striktan prioritet. Metode kao što su WFQ i DRR mogu omogućiti garanciju bandwitha i neke mjere kašnjenja za pojedine tokove saobraćaja. Ali, gledajući generalno, garancije za niskim kašnjenjem nema. Ovaj problem možemo otkloniti samo korištenjem hibridnih metoda, gdje se red čekanja s visokim prioritetom opsluži, a tek onda ostali.

AQM-Active Queue Management. Mrežni čvorovi moraju vladati s dužinom redova saobraćaja. AQM se sastoji od ispuštanja ili markacije paketa prije negoli red postane pun i nezavisan je od vrste opsluživanja reda. U nekim slučajevima ispuštanje paketa može biti veoma važno u prevenciji zagušenja, npr. signalizacija TCP koja čini veliki dio saobraćaja u današnjim mrežama. Način na koji mrežni čvor ukaže izvoru da je riječ o zagušenju, utječe na kašnjenje i throughput koje će pojedina TCP sesija iskusiti. Metod ispu-



Slika 9.
Efekti Shapinga na primjeru saobraćaja

štanja paketa ukoliko dođe do pretrpavanja reda se zove *tail dropping*.

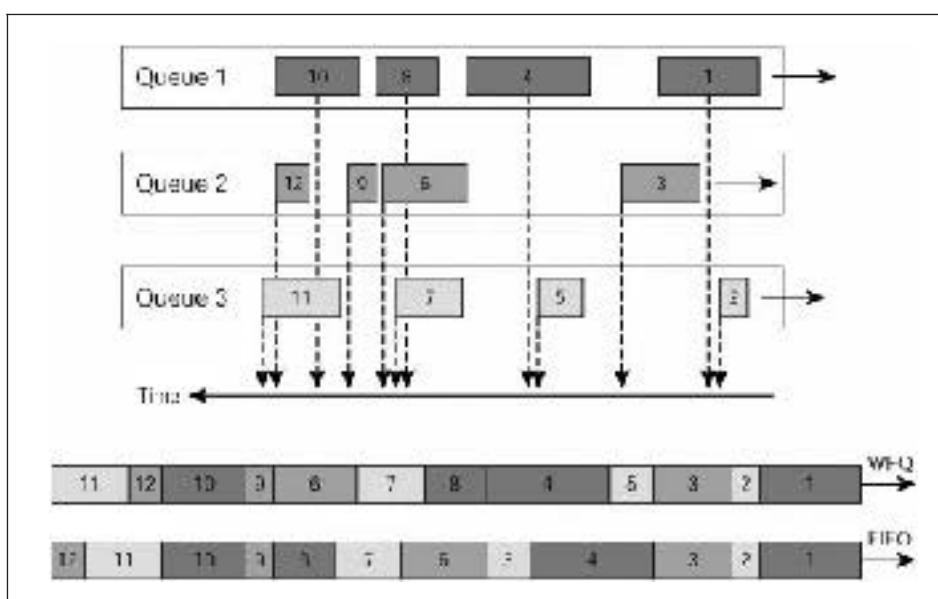
RED-Random Early Detection je popularan mehanizam za AQM. RED poboljšava otvorenost među TCP sesijama. Kada se koristi, čvor ispušta sve pakete s vjerovatnoćom p , koja je funkcija maksimalne veličine reda.

RED počiva na računanju prosječne veličine reda čekanja. Korištenje prosječne vrijednosti dopušta prilagođavanje saobraćajnih tokova, za razliku od korištenja trenutne, koja bi kao posljedicu imala trenutnu reakciju.

Postoji također i WRED (Weighted RED), koji koristi višestruke RED profile s raznim funkcijama vjerovatnoće. Riječ weight se odnosi na mehanizam profila ispuštanja paketa. Mrežni čvor koristi markaciju paketa (IP DSCP ili MPLS EXP) za odabir profila ispuštanja.

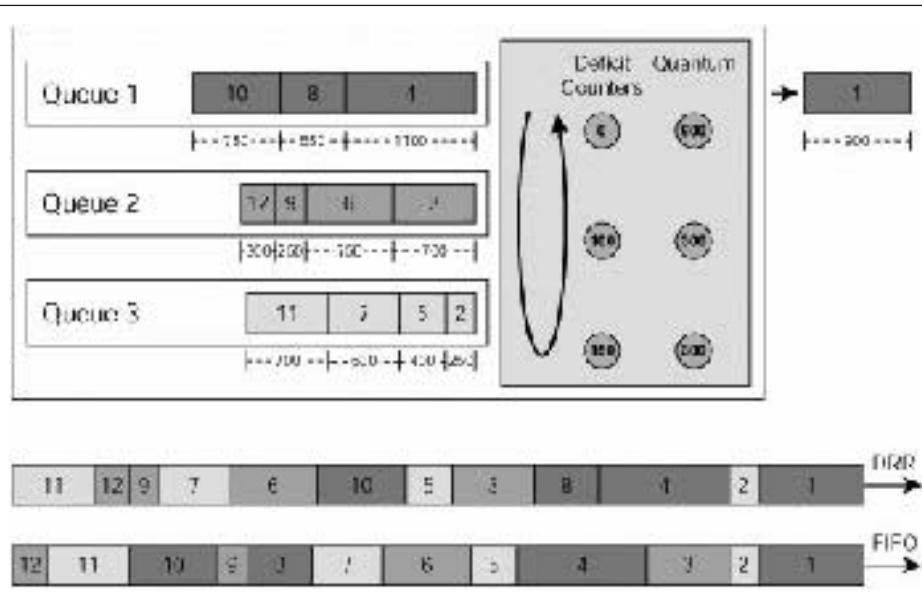
Mrežni čvor može zahtijevati obavljanje Link fragmentation and interleaving (LFI) da se reducira kašnjenje za prioritetski saobraćaj. Mehanizmi koji koriste prioritetizaciju reda ne prekidaju započetu transmisiju paketa koji su nižeg prioriteta. S obzirom na to da paket većeg prioriteta može stići naknadno, onda mora čekati da se završi transmisija koja je već počela. Samim tim, kašnjenje može biti drastično uvećano. Fragmentacija paketa s nižim prioritetom i ispreplitanje s fragmentima visokoprioretiziranih paketa, omogućava smanjenje kašnjenja za interesantan saobraćaj. Tabela 4. govori kako je eksperimentalno utvrđeno da kašnjenje ovisi o brzini prijenosa podataka, ali i veličini paketa koji se prenosi. LFI koristi Layer 2 fragmentacijske mehanizme koje mrežni čvor aplicira da utječe na raspoređivanje paketa. Layer 2 se koristi zato što je više generički i ima efikasniji pristup nego druge alternative, kao npr. IP fragmentacija. Najčešći korišten mehanizam je multilink PPP (MLP) i može biti korišten na PPP, Frame relay i ATM vezama.

Metod kompresije zaglavlja omogućava veću efikasnost pri raspodjeli propusnog opsega i reducira transmisijsko kašnjenje. Real-time saobraćaj generalno se oslanja na real time protocol-RTP. Ovaj saobraćaj također prima UDP i IP enkap-

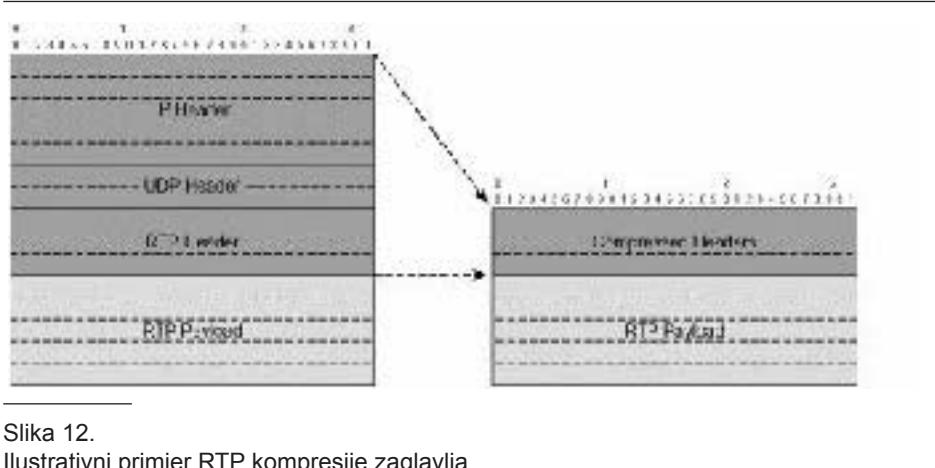


Slika 10.
WFQ Scheduler s tri reda čekanja

sulaciju. U zavisnosti o tipu real-time saobraćaja, može se desiti da je informacija u zaglavju količinski veća od korisne informacije. Da se reducira saobraćaj, mrežni čvor može koristiti RTP kompresiju zaglavlja (cRTP) da komprimira IP, UDP i RTP zaglavlja. Odredišni čvor rekonstruira zaglavje prije prosljeđivanja paketa. RFC 2508 definira cRTP, a IETF



Slika 11.
DRR Scheduler s tri reda čekanja



Slika 12.

Ilustrativni primjer RTP kompresije zaglavljva

	256kbps	512kbps	768kbps	1024kbps	1280kbps	1536kbps
64 bytes	2,00	1,00	0,70	0,50	0,40	0,30
128 bytes	4,00	2,00	1,30	1,00	0,80	0,70
1024 bytes	32,00	16,00	10,70	8,00	6,40	5,30
1500 bytes	46,90	23,40	15,60	11,70	9,40	7,80
4096 bytes	128,00	64,00	42,70	32,00	25,60	21,30

Tabela 4.

Kašnjenje u transmisiji (ms) za različite veličine paketa pri različitim brzinama

LITERATURA

- 1) QoS for IP/MPLS Networks; Santiago Alvarez; Cisco Press 2006; ISBN: 1-58705-233-4
- 2) Cisco QOS Exam Certification Guide; Second Edition, Cisco Press 2004, Wendell Odom, Michael J. Cavanaugh, ISBN: 1-58720-124-0
- 3) Performance Measurements of MPLS Traffic Engineering and QoS; http://www.isoc.org/isoc/conferences/inet/01/CD_proceedings/T43/index.htm
- 4) <http://www.ipmplsforum.org/>
- 5) <http://www.bleedingvoip.com/bleedingvoip-showdowns/multi-vendor-voip-sla-showdown.html>

radi na definiciji cRTP operacija u MPLS mrežama.

3. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme IP protokoli osvajaju tržište svojom jednostavnosću, mogućnosti pristupa i manjom cijenom. Sve više tehnologija i nekada potpuno odvojenih servisa, sada konvergiraju prema jedinstvenoj platformi koja je bazirana na IP protokolu. Primjeri za to su prvenstveno razvoj širokopojasnog pristupa Internetu, prijenosa glasa i videosignala putem IP protokola. Današnji SP-i, prvenstveno telekom operatori, nastoje da pruže već spomenute konvergirane usluge. Međutim, uspjeh u tome prvenstveno ovisi o mogućnosti da se pruži odgovarajući kvalitet usluge i obezbijedi praćenje QOS zahtjeva. IP protokol je u svojoj osnovi zamišljen kao BE protokol, koji ne nudi nikakve garancije. Dodatnim proširenjima, prvenstveno pojavom MPLS tehnologije, omogućena je implementacija i praćenje QOS zahtjeva, kao i mnogih drugih usluga kao što je VPN. Kruna svega ovoga je mogućnost SP-a da ponude određeni nivo ugovora koji su korisnici spremni da plate, poznatije kao SLA – *service level agreement*. U razvijenim zemljama Zapada ovakvi ugovori su već postali svakodnevna praksa, a u skoroj budućnosti je očekivati i kod nas da bude tako.

Dvije QOS arhitekture su definirane za IP: IntServ i DiffServ. IntServ daje granulacijske QOS garancije s eksplicitnim rezervacijama resursa. Koristi RSVP kao signalizacijski protokol. DiffServ nudi nešto grublji QOS pristup baziran na klasama saobraćaja. MPLS ne definiра nove arhitekture za QOS, a trenutno MPLS podržava samo DiffServ. MPLS DiffServ predstavlja koncepte E-LSP i L-LSP, zajedno s tri koncepta tuneliranja. Obje arhitekture koriste mehanizme koji uključuju klasifikaciju, markiranje, policing, shaping, congestion management, active queue management, fragmentation/interleaving i header compression.

Sve navedeno u radu predstavlja bitne parametre za QOS i metode njihove optimizacije.



Strategic partner in design and implementation of telecommunications solutions

- Core Networks Solutions
- Optical Transport Networks Solutions
- Network Security Systems Solutions
- OSS/BSS Solutions
- Counseling
- Network Design
- Integration
- Technical Support
- Expert Analysis Tools
- Training



www.smart-com.si

BeeSmart
TAKE ADVANTAGE

The secret behind
exceptional
interactive television

www.beesmart.tv



BeeSmart d.o.o.
Brnčičeva ul. 45, 1000 Ljubljana
SI-Slovenija
info@beesmart.tv

Problemi u realizaciji širokopojasnog pristupa s postojećom mrežom metalnih kablova i njihovo prevazilaženje

Problems with broadband access over existing network of copper cables and their overcoming

Sažetak

Preplatničke linije (ili petlje)[1] spajaju korisnika na centralni (komutacioni) ured CO (Central Office), izgrađene su i razvijene za prijenos govora i podataka. U ovom radu analizirat će se stanje kablova velikog kapaciteta (600×4 , 500×4 , 400×4) i kablovi starije ugradnje. Većina ovakvih kablova imaju veliku dužinu, a samim tim i veliki broj spojeva. Svaki od spojeva, sam po sebi, predstavlja potencijalni izvor smetnje i degradirajuće djeluje na prijenosnu karakteristiku parice. U urbanim gradskim sredinama je evidentno mnogo kablova velikog kapaciteta i stariji su od 15 godina (uglavnom s papirnom izolacijom). Idealno bi bilo kada bi se svi mogli zamijeniti novim kablovima preko distribuiranih multiservisnih jedinica. Međutim, realizacija samo jednog ovakvog projekta iziskuje mnogo vremena (izrada projektne dokumentacije, pribavljanje građevinske dozvole i saglasnosti, izgradnja PM) i u najboljem slučaju je to dvije godine. Ideja je da se na kablovima velikog kapaciteta i velike dužine, na pogodnom mjestu, montira MSAN (tip distributivnog ormara za vanjsku montažu) i da se na njega preuzme postojeća mreža. Na taj način bi se dužina parice umnogome smanjila, a održavanje mreže pojednostavilo. Također, moguće je da se, umjesto distribuiranih kablovskih razdjelnika (KR), na istom mjestu montira udaljena komutaciona jedinica. Ukoliko na ovakovom kablu nema KR-a, tada se u blizini kablovske kanalizacije kroz koju prolazi kabal može na pogodnoj lokaciji izgraditi multiservisni uređaj tipa šelter.

Ključne riječi: MSAN, FTTx

Abstract

In this paper we will analyze the state of copper cable with a big amount of twisted pairs and cables that installed 20 years ago. Many of those cables have a long length and as consequence of that they have a lot of splices. Each splice presents a potential source of fault and it degrades transmission characteristics of twisted pairs.

Urban part of town has a lot of those cables. If we can change all those cables with distribute multiservice units (etc. MSAN) it would be a prefect case. However, the realization of this project requests a lot of time (time for making project documentations, local government ...). The base of idea is installing of MSAN at an adequate places on the trace of cable. And on this way we will make a shorting of length of twisted pairs. Also, the maintaining of those cables (the short cables) is much easier.

This solution can be a transition solution, at the place of MSANs, we can install a FTTx equipments.

Keywords: MSAN, FTTx

I UVOD

S obzirom na to da kod modemske komunikacije najveći problemi nastaju baš na liniji, cilj je posvetiti veliku pažnju ovom elementu, koji najviše degradira digitalni prijenos.

Svaka preplatnička linija sastoji se od para izolovanih bakarnih žica od 26AWG do 19 AWG (debljina u opsegu približno 0.45 do 0.91 mm). Izolacioni dielektrik je obično polietilen, ali još postoje neke parice s papirnom izolacijom. Tipičan izgled kablova jedne TF mreže prikazan je na Slici 1.1, i sastoji se od višeparičnog napojnog kabla koji polazi od CO (Central Office – komutacija). On može sadržavati više upredenih grupa parica. U interfejsu za distribuciju napojnog kabla (nastavak, KR), napojni kabal se dijeli na nekoliko manjih distributivnih kablova, koji na kraju izlaze u puno individualnih slobodnih parica prema prostorijama korisnika.

Kako se linija sastoji iz sekcija kabla i mosnih umetaka, to će se razmatranje proširiti na kaskadnu vezu segmenata parice.

Unutar kabla, provodnici svake parice upredeni su jedan oko drugog u formi upredene nezaštićene parice – UTP (Unshilded Twisted Pair). Bitni parametri parice koji utječu na kvalitetan digitalni prijenos definirani su kao R,L,C i G parametri. ANSI trenutno definira neke osobine (dužinu uplitanja ili pitch, simetrija – balans, gubitak dielektrika itd.) za nekoliko kategorija UTP parice. U svrhu održavanja simetrije, najvažniji parametar je odnos između talasne dužine signala i pitcha. Primarni parametar koji određuje snagu TK opreme da vrši signalizaciju i dijagnostičko održavanje je *dc* otpor linije. U SAD-u, prema RRD pravilima, otpor linije je ograničen na 1500 om. Osim ovih elemenata, evidentni su praktični problemi koji degradiraju digitalni prijenos duž parice, i to: raspredanje parica prilikom izrade nastavaka na kablu, prijelazni otpor, višestruka promjena presjeka parica.

Najmanje jedna promjena presjeka može se desiti unutar dovodno/distributivnih kablova, i ona se mora uzeti u obzir, u bilo kojoj analizi prijenosne karakteristike parice (Slika 1).

II KARAKTERISTIKE NEOKLOPLJENE PARICE

2.1. Parametri koji definiraju karakteristiku upredene parice

Da bismo mogli analizirati probleme na telekomunikacionim kablom, potrebno je detaljno opisati paricu sa svim elementima koji utječu na prijenosnu karakteristiku parice, kao dijela TK kabla.

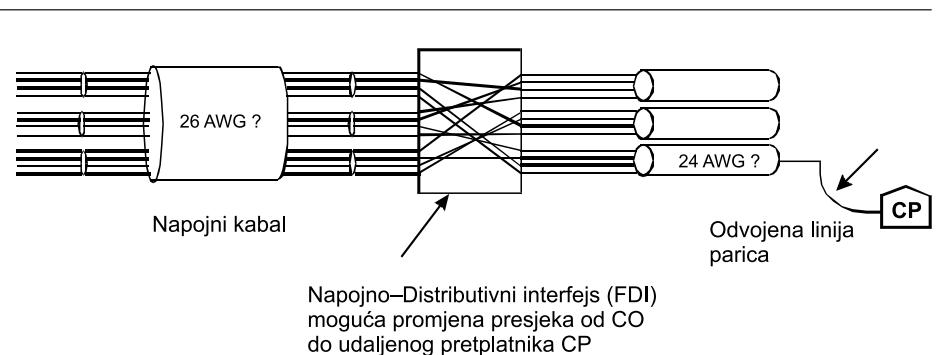
Ubačeni mostovi (Bridge taps) i račve, jesu otvorena kola UTP-a koja se spajaju duž parice koja se razmatra. Oni mogu biti predmet mnogih različitih instalacija, održavanja i prakse kućnih instalacija. Također, mogu biti izvori smetnji pri pružanju xDSL usluga.

Račve, ukoliko nisu zatvorene karakterističnom impedansom, mogu degradirati digitalni prijenos.

Ako se parica negdje prekine u kablu, izradu nastavka uraditi tako da se mjesto spoja uradi sa što manjim prelaznim omškim otporom i bez prevelikog rasplitanja parica unutar kabla.

Kada se parica napokon pojavi iz distributivnog kabla, ona se spaja u korisničku prostoriju pomoću odvodnog voda, i termin se odnosi na »odvod» od izvoda. Ovi kablovi mogu biti ravnii ili upredeni i njihova simetrija je obično mnogo gora od distributivnog dijela linije. To može proizvesti porast RF šuma i preslušavanje. Karakteristična impedansa odvodnih provodnika je obično veća od impedanse distributivnih kablova, i kao posljedici ima promjene impedanse, što utječe na slabljenje koje može biti važno kod kraćih petlji na višim frkvencijama koje koristi ADSL i VDSL. Stoga se preporučuje da odvodi (kućne instalacije) budu izrađeni s kablom istog presjeka i korača upredanja u odnosu na distributivne i razvodne kable.

Slijedeći pregled sadrži mnogo podataka o parici, i svi su uključeni zato što će takav nivo detalja biti potreban za



Slika 1.
Tipičan izgled mreže – primarni (napojni) i sekundarni kablovi

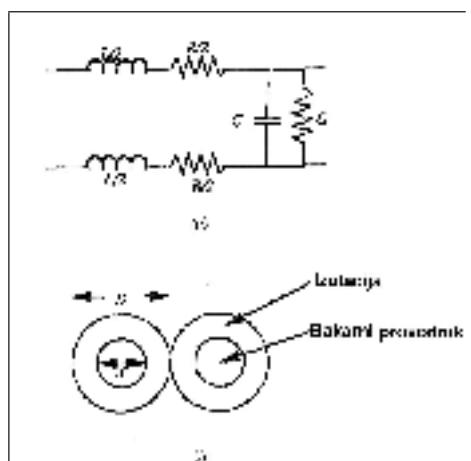
proučavanje poništavanja preslušavanja, i zato što je potreban sveobuhvatan opis UTP-a, koji se koristi za xDSL. UTP se sastoji od raspodijeljenog induktiviteta i otpornosti vezanih u seriju, i raspodijeljenog kapaciteta i provodnosti vezanih paralelno. Sva četiri primarna parametra odnose se na jedinicu dužine (kft u SAD-u, km kod ostalih). Homogenizirana sekcija na nespecificiranoj jedinici dužine i poprečni presjek prikazani su na Slici 2.

Kapacitet po jedinici dužine je dat kao:

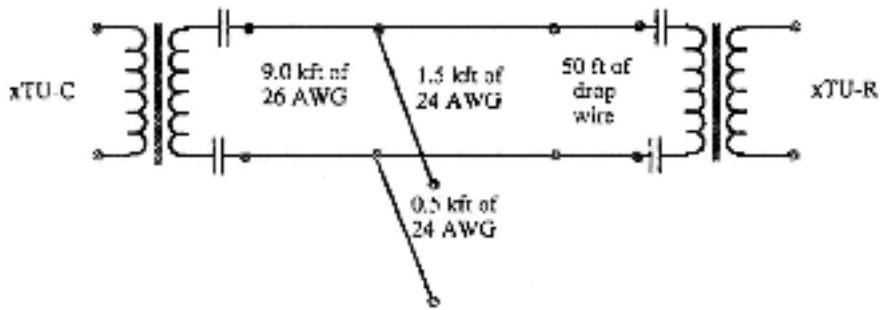
$$C = \frac{\pi k \epsilon_0}{\arccos h(D/d)} \quad (\text{F/m}) \quad (2.1)$$

Gdje su k dielektrična konstanta medija i ϵ_0 dielektrična konstanta slobodnog prostora – 8.85×10^{-12} . U ovoj formuli je pretpostavljeno da je izolacioni medij homogen, ali u praksi nije; postoje dva sloja izolacije, kao što je prikazano na Slici 2., i povrh toga, nepoznata mješavina zraka između ostalih parica. Dielektrična konstanta polietilena je 2.26, ali efektivna vrijednost za k varira u zavisnosti od izrade kabla, i ona je približno 2.05. U praksi, česte su kombinacije parica (kablova) s papirnom i PIC izolacijom, čije je razmatranje teško opisati primjenom standarda za testna mjerena na linijama s kraja na kraj (CSA i ANSI testni tip linije).

Induktivitet po jedinici dužine na visokim frekvencijama – kada se struja uglavnom prenosi po površini provodnika – dat je izrazom:



Slika 2.
a) Model linije; b) Poprečni presjek sekcije UTP-a



Slika 3.
Tipična veza s kraja na kraj

$$L_{per} = \frac{\mu_0}{\pi} \arccos h(D/d) = \\ = \frac{\mu_0}{\pi} \ln \left[\frac{D}{d} + \sqrt{\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1} \right] \text{ (H/m)} \quad (2.2)$$

Gdje je μ_0 permeabilnost slobodnog prostora i iznosi $4\pi \times 10^{-7}$, a za 26 AWG, $D/d \approx 1.7$

$$C_{perkfi} = \frac{17,6}{\arccos h(D/d)} \text{ (nF/kft)} \quad (2.3)$$

$$L_{perkfi} = 0,122 \arccos h(D/d) \text{ (mH/kft ili mH/km)} \quad (2.4)$$

Dvije ostale formule za C_{per} i L_{per} se koriste u literaturi, gdje je funkcija \arccos zamijenjena funkcijom $\ln(2D/d-1)$ ili $\ln(2D/d)$. Objekti u aproksimacije su dobre ako je $D/d \gg 1$, ali to nije tačno za UTP. Ovo bi, ipak, bilo tačno ako se struja jednoliko prostire; ili kroz provodnik na niskim frekvencijama ili po površini na visokim frekvencijama. U praksi, međutim, efekt EM polja stvara koncentrične strujne silnice u drugom provodniku, i ukrštene forme uzimaju udjela u tome. Funkcija $\ln(D/d)$ se uglavnom koristi zato što je jednostavnija; rezultirajuća vrijednost je za gotovo 7% veća od tačne.

Vrijednost L_{per} data izrazom 2.2 često se zove vanjska, zato što je ona rezultat fluksa izvan provodnika. Na niskim frekvencijama, kada struja teče kroz puni presjek provodnika, postoji također unutrašnji induktivitet.

$$L_{int} = \frac{\mu_0}{4\pi} \quad (2.5)$$

I vrijednost L_{per} na nižim frekvencijama je suma unutrašnjeg i spoljašnjeg induktiviteta. Svaka homogena sekcija UTP-a takođe se karakterizira parom sekundarnih parametara: Zo karakteristična impedansa, i γ konstanta prostiranja. Koeficijent $\gamma = (a+jb)$, striktno definira prostiranje – propagaciju jednog dijela homogenog UTP-a i on je zatvoren (na oba kraja) s karakterističnom impedansom. Zo je kompleksna veličina i frekventno zavisna impedansa. Uprkos svemu, čak i s potpuno otpornom definicijom, γ je veoma precizno (± 0.2 dB) i predviđa slabljenje na jednoj sekciji iznad 20 kHz; ustvari, suma svih gama za kaskadnu konekciju sekacija linija je također precizna. Najveći broj, s kraja na kraj transmisionih puteva, međutim, uključuje koncentrirane elemente i mosne umetke. Konstante prostiranja svake sekcije nisu same za sebe dovoljne za preciznu analizu takve petlje; takav metod analize će biti prikazan kasnije.

Raspodijeljeni R LG C parametri

UTP se može karakterizirati mjenjem nekih tercijarnih parametara: s otvorenim ulazom, kratko spojenim impedansama (Zoc i Zsc) ili poduznim parametrima – po jedinici dužine na različitim frekvencijama. Preko ovoga se Zo i γ mogu izračunati, a odatle R, L, G i C.

Za sve PIC (polietilenski izolovani kabal) kablove parametar G je neznatan preko xDSL frekventnog pojasa <15MHz, parametar C je u osnovi konstantan u zavisnosti od frekvencije; **L i R su parametri od bitnijeg interesa.**

Dva neznatno različita skupa parametara objavljeni su od „British Telecoma“ za kablove koji se koriste u Engleskoj. Prvi, za ADSL frekventni opseg, koji se zasniva na primarnim parametrima u Aneksu H T1.413. Drugi, za VDSL frekventni opseg objavljen u Cioffi, 1998. godine.

Pretplatnička parica sastoji se od lijske sekcije, mosnih umetaka, i odvođa. Skoncentrirani elemeni se lako mogu analizirati preko vezane matrice. Vezane matrice odvojenih komponenata se mogu definirati kao što slijedi [1].

2.2. Frekvencija i dubina zasjeka kao posljedica prostog mosnog umetka

Otvorena sekcija kabla ima minimalnu svoju ulaznu impedansu na frekvencijama za koje je dužina neparan broj četvrtine talasne dužine. Brzina prostiranja „američkih“ kablova iznad ADSL frekventnog opsega je približno 0.63 kft/ms ($\pm 5\%$).

Zbog toga je prva granična frekvencija:

$$f_{notch} \approx \frac{0.63}{4l} \approx 0.315 \text{ MHz}$$

za 500-ft mosni umetak (2.6)

Signal koji se prostire kroz mostni nastavak i reflektira nazad je dat sa

$$att \approx \alpha 2l \sqrt{f} \text{ (dB)}$$

Za 24 AWG mosni nastavak u ovom primjeru $\alpha \approx 6.2 \text{ dB/kft}/\sqrt{\text{MHz}}$ tako da je $att(f_{notch}) \approx 3.48 \text{ dB}$.

Dubina zasjeka frekventne karakteristike je data sa:

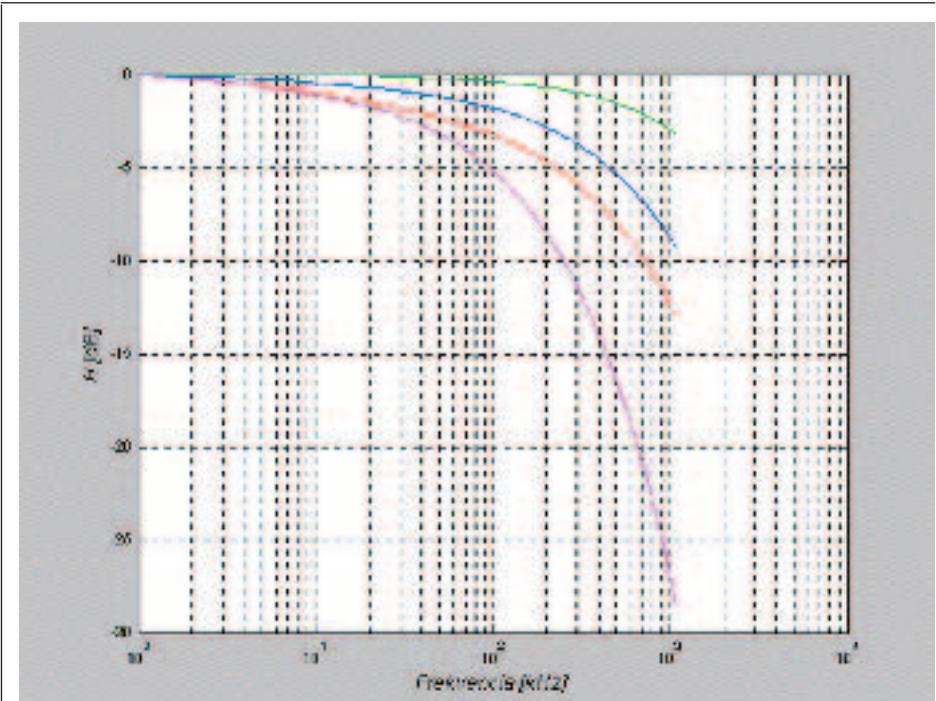
$$dB_{notch} = 20 \log(1 - 10^{-att/20}) \approx 9.6 \text{ dB za } 500 \text{ ft 24 AWG mosni umetak.} \quad (2.7)$$

Kao što se može vidjeti, zasjek je približno na 0.31 MHz, i slabljenje sa ili bez mosnog nastavka je približno 9,6 dB, tako da proračuni frekventnog zasjeka (granične frekvencije) i dubine su veome dobri. Sekundarni zasjek za koji je dužina tri četvrtine talasne dužine, jeste, kao što se moglo očekivati, približno 0,9 MHz, ali je proračun dubine zasjeka mnogo komplikiraniji i njegovo slabljenje je oko 4 dB.

2.3. Prijenosna karakteristika parice

Slika 4. daje prijenosnu karakteristiku za četiri vrste kablova modelovanih kao analogni filter, pri čemu je uzeto da su parice iste dužine i da ona iznosi oko 300 m (1000 kft).

- zelenom bojom je predstavljena modelovana karakteristika parice AWG 24,
- plavom bojom je označena modelovana karakteristika parice UTP kategorije 5,
- crvenom bojom je označena modelovana karakteristika parice AWG 26, i



Slika 4.
Karakteristika modelovane linije kao analogni filter za 4 tipa kabla: AWG 24, AWG 26, UTP i pljosnat kabal. Dužina linije je 1000 ft (oko 300 m).

- ljubičastom bojom je označena modelovana karakteristika pljosnatog kabla.

Sa slike je vidljivo da slabljenje raste za sve tipove parice s porastom frekvencije. Ovo je naročito izraženo za pljosnati kabal. *Stoga je preporučljivo da se pri izradi nastavaka na telekomunikacionim kablovima raspredanje parica svede na minimum.*

III PREPORUKE ZA SMANJENJE DUŽINE PARICE

Mnogi kablovi koji su ugrađeni u TK mrežama u urbanim sredinama su velikog kapaciteta, velike dužine i dosta su stari (od 20 do 45 godina). Idealno bi bilo da se ovakvi kablovi zamijene sa PIC kablovima, međutim, za ovu aktivnost je potrebno mnogo vremena i sredstava u kratkom vremenu. Realno, ovo je veoma teško izvesti.



Slika 5.
Izgled KR-a na Skenderiji

Primjer je izgradnja jedne TK mreže od 1000 parica, za šta su potrebne skoro dvije godine (projektovanje, pribavljanje svih saglasnosti, pribavljanje građevinske dozvole, raspisivanje tendera za izbor izvođača, izgradnja PM i tehnički prijem...).

Moguće je uraditi prihvatljivo tehničko rješenje koje bi imalo cilj smanjenje dužine kabla-parice, korištenjem dijela postojeće telekomunikacione mreže. Realizacija ovog projekta bi se izvela u dvije faze:

1. Na pogodnoj dionici (račva) distributivnog kabla velikog kapaciteta montirala bi se udaljena multiservisna jedinica na koju bi se vezali preostali distributivni kablovi. Na osnovu izloženog slijedi da bi se, u tom slučaju, mogla izbaciti dionica kabla od CO (Central Officea) do novog multiservisnog uređaja. Ovdje postoji pogonost na telekomunikacionim mrežama koje imaju distribuirane kablovske razdjeljнике – KR. U tom slučaju bi se na mjestu već postojećeg KR-a mogla zatražiti dopuna građevinske dozvole da se na istoj lokaciji montira multiservisni uređaj. Izgled jednog KR-a predstavljen je na Slici 5.
2. Nakon montaže MSAN-a i preuzimanja postojećih distributivnih kablova na novoizgrađeni multiservisni uređaj (MSAN), može se postepeno vršiti parcijalna ili kompletna zamjena starih kablova, prema već pripremljenoj dokumentaciji. Ovaj projekt mogao bi obuhvatiti i eventualna proširenja date mreže u okviru definiranog obuhvata novog MSAN-a.

Konkretni primjer je izgradnja MSAN-a na kablu br. 41 u RD Sarajevo kapaciteta TK00 1000x2x04, što je predstavljeno na Slici 6. Ovaj kabal ima dužinu od 2100 m i povezuje dio naselja Otoka na RDLU Malta (RDLU Malta – obilježen plavom bojom). Kabal prolazi pored objekta MIMS-Otoka u kojem „BH Telecom“ ima manji prostor za smještaj opreme za baznu stanicu (krug obilježen žutom bojom). Prijedlog je da se u dati prostor smjesti RSU i da se postojeći kabal br. 41 presječe i preuzeme na novomontiranu komutaciju u

MIMS-u (obilježeno žutom bojom). Na ovaj način bi se izbacio segment kabla TK00 1000x2x04 u dužini od 1450 m sa 15 nastavaka (segment kabla obilježen crnom bojom). U konkretnom slučaju bi maksimalna dužina parice bila oko 650 m, što omogućuje sve usluge koje pruža „BH Telecom“ (segment kabla obilježen svjetloplavom bojom).

IV ZAKLJUČAK

Električna i telekomunikaciona mjerenja kod kablova s papirnom izolacijom (TK 10, TK00) u mnogo slučajeva ne zadovoljavaju uvjete digitalnog prijenosa za predviđene dužine kabla. Evidentni su iskustveni problemi koji dovode do ovoga:[1]

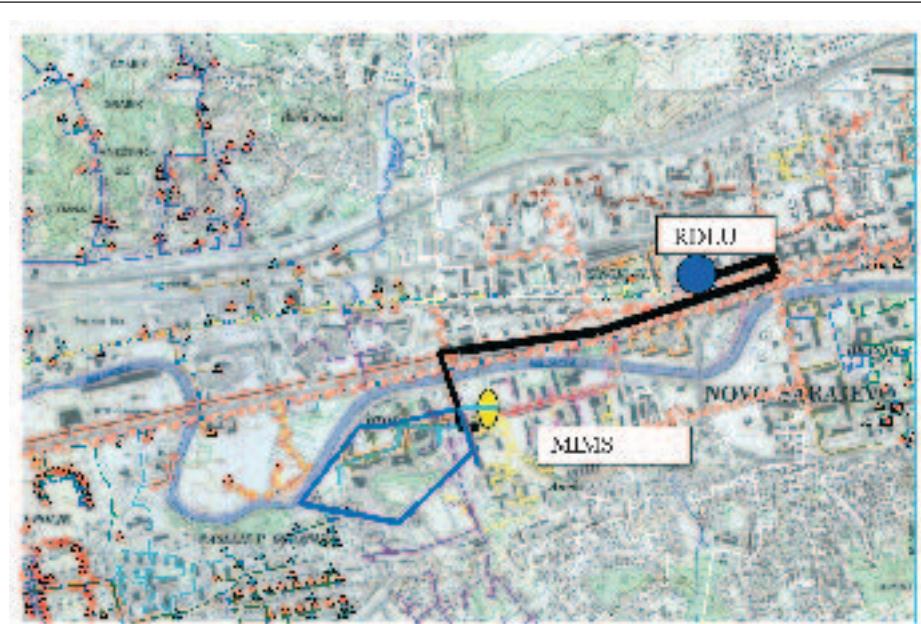
- Svi ovi kablovi su starijeg datuma ugradnje, veoma dugi i evidentno je veliko slabljenje; preporučuje se skraćenje dužine kabla, ukoliko se ne mogu zamijeniti PIC kablovima.
- Mnogo ovih kablova je izuzetno velikog kapaciteta (1200x2, 1000x2, 800x2...), te njihovim uvlačenjem u kablovsku kanalizaciju prave se nastavci na svakih 100–150 m, pri čemu je svaki spoj potencijalni izvor smetnje i svaki spoj ima svoj omski otpor, kapacitivni i prijelazni otpor.
- Prilikom spajanja kablova evidentno je raspredanje parica i ono iznosi na kablovima velikog kapaciteta 70–100 cm, te se na taj način povećava preslušavanje; preporučuje se svesti ovo raspredanje na minimum.
- Kod starijih kablova, spajanje je vršeno ručno (uvrtanjem parica), pri čemu se stvara tanki oksidni sloj koji povećava prijelazni otpor; preporučuje se spajanje izvoditi modulima za spajanje.
- Prilikom spajanja kablova s papirnom izolacijom u kanalizacionim šabtovima, u kojima je velika vlažnost, dolazi do upijanja vlage u papirnu izolaciju, pa se smanjuju električna svojstva papira; preporučuje se obavezno sušenje ovakvih kablova i obavezno postavljanje silikata koji služi za apsorpciju vlage.
- Presjek voda koji je korišten za izradu kućnih instalacija, nije istog presjeka kao distributivni i razvodni kabal;

preporučuje se korištenje kablova istog presjeka za izradu kućnih instalacija.

- Otvoreni mostovi-račve, na kućnim instalacijama, također, degradiraju digitalni prijenos (problem dubine zasjeka); preporučuje se zatvaranje karakterističnom impedansom otvorenih mostova-račvi.
- Izbjegavati xDSL prijenos po paricama u istoj četvorci kabla.
- Kod rekonstrukcije PM i izgradnje nove, dozvoljena je jedna promjena presjeka parice.
- Veoma je teško precizno odrediti prijenosnu karakteristiku parice (s kraja na kraj), jer na njen izgled pored R,L,C i G parametara utječe: raspredjeljenje parica na mjestu spoja, prijelazni otpor na mjestu spoja, napajanje PCM uređaja, preslušavanje od ISDN-a i ADSL-a.
- Moguće je uraditi skraćenje dužine parice-kabla (na kablovima 800x2,1000x2,1200x2) u kratkom vremenskom roku, na način da se na pogodnoj dionici ovog kabla montira RSU i preuzme postojeća mreža. Ove radove je moguće realizirati u periodu od četiri do šest mjeseci (građevinska dozvola za RSU, montaža opreme, preuzimanje postojećeg kabla....). Na ovaj način bi se izbacila dionica kabla (smanje se dužila parice), oslobođila bi se cijev u kablovskoj kanalizaciji i smanjio broj spojeva. Nakon toga u drugoj fazi, može se pristupiti rekonstrukciji i proširenju PM koja je u obuhvatu novoizgrađenog RSU-a.

Ovaj prijedlog ni kojem slučaju ne predstavlja trajno, nego prijelazno rješenje ka FTTH tehnologijama. Kako izgradnja jedne mreže (projekt-kolaudacija) traje duže od dvije godine, a u RD Sarajevo se godišnje prebaci na nove mreže gotovo 5000 korisnika, nama bi samo u Sarajevu trebalo skoro 25-30 godina da izvršimo prebacivanje svih korisnika na nove mreže.

Montaža MSAN-a na kablu velikog kapaciteta ima više prednosti:



Slika 6.
Prijedlog izgradnje MSAN-a na postojećem kablu TK00 1000x2x04

- Smanjuju se dužina i kapacitet kabla, jer se oprema montira na račvi distributivnog kabla;
- Pribavljanje građevinske dozvole za šelter-ormar je mnogo jednostavnije, brže, jeftinije I KRAĆE;
- Postojeći šelter-ormar (s građevinskom dozvolom) se u daljnjoj nadogradnji može koristiti kao ormara za smještaj FTTH opreme (npr GPON);
- Mnogo je jednostavnije dobiti građevinsku dozvolu za šelter-ormar nego za cijelu mrežu;
- Od distributivnog ormara moguće je vršiti rekonstrukcije i zamjene manjih kablova novim ili optičkim kablovima.

Realizacijom jednog pilot-projekta moglo bi se utvrditi sve prednosti i eventualni problemi, koji bi se mogli pojaviti tokom realizacije.

LITERATURA

- [1] Mujo Hodžić, *Modelovanje i simulacija ADSL modema i prijenosne linije za brzinu 6,144 Mbit/s*, Magistarski rad, Sarajevo, 2004. godine
- [2] RD Sarajevo, Tehnička dokumentacija RD Sarajevo kabla br.41

Reliability analysis of mesh telecommunication network

Abstract

The problem of analysis the reliability of general mesh networks, given the probability of failure of the component nodes and links. For the sake of clarity, begin by considering the simplest problem, assuming that failures occur independently, that nodes are perfectly reliable, and that the primary interest is in the probability that the network is connected.

1. INTRODUCTION

For praxis is important to describing ways to design networks that meet a given set of requirements at minimum cost. This, naturally, led to techniques for reducing the slack capacity in the networks. It is important that a network contain some slack it so function even if some of its component nodes or links have failed. Slack, however, should be judiciously placed to maximise the improvement in reliability for a given investment in additional facilities. Thus, the techniques discussed carry forward into this problem as well. The idea is not just to add slack to the network, but to add it where it will do the most good, and only in places where it is needed to meet a given reliability objective.

2. THE RELIABILITY POLYNOMIAL

The analysis of the reliability of a network can be thought of as an enumeration of the states in which the network is working and the states in which it has failed. Since each component may be working or failed, there are 2^C possible states for a network with C components (links in the case where nodes are considered to be perfectly reliable). Thus, explicit enumeration is not practical except for very small networks.

If all links with the same probability, however we can organise this enumeration and obtain a great deal of information about the networks reliability with comparatively little effort. It is also possible to make important observations about the reliability of networks in general.

Let P_w be the probability that the network is working (i. E. the probability that

is connected in the case being considered here). P_w is given by

$$P_w = \sum_{k=0}^N N_w(k) p^k (1-p)^{(C-k)} \quad (1)$$

where p is the probability that a link is working and $N_w(k)$ is the number of working states (i. e. states where the network is deemed functional) with k links working and $C-k$ links failed. The problem is then to determine $N_w(k)$ for each. Determining $N_w(k)$ exactly is difficult but it is possible to observe a great deal about its value fairly easily. Equation (1) is known as the reliability polynomial and can be used to determine the reliability of the network as a function of p .

First,

$$N_w(k) \leq A_{ck} = \frac{C!}{k!(C-k)!} \quad (2)$$

If $N_w(k)$ is replaced by A_{ck} in equation (1), there is binomial distribution; i. e.:

$$1 = \sum A_{ck} p^k (1-p)^{(C-k)} \quad (3)$$

This represents the case where the network is considered to be working in all states. In this case, P_w is one. While this case is not realistic, the distribution of probability mass among the terms on the right hand side of equation (3) explains a great about the range of values that P_w can take. For example, if the network is 2-connected (i. E. cannot be disconnected by the failure of fewer than two links), then:

$$P_w \geq 1 - \sum N_w(k) p^k (1-p)^{(C-k)} \quad (4)$$

For p close to 1, the terms on the right hand side fall off very quickly as a function of k . Specifically, if $Cp(1-p) < 1$, then the terms fall off faster than $1/k!$. Thus most of the probability mass is in the first few terms of the sum in equation (3). As p gets smaller or C gets large this probability mass spread over a larger number of terms.

This leads to widely used rule of thumb for the design of reliable networks. Bounds like the one in equation (4) are computed for small values of k until one that is acceptable is found and then make the network k -connected [1].

This is, of course, very conservative. It would also be sufficient to make the values of $N_w(k)$ large enough for each

value of k . It is, however, hard to determine $N_w(k)$ in general and so, in practice, designers often rely on connectivity, which is easier to determine.

Similarly it may be possible to obtain an upper bound on reliability from the reliability polynomial. If a network has N nodes and M links, then

$$N_w(k)=0 \text{ for } k>M-(N-1) \quad (5)$$

since at least $N-1$ links are needed to connect the network. When M is close to N , this bound is significant. The most extreme case is when the network is a tree. In this case only one term (the term with all links working) contributes to the probability that the network is connected. Also, in this case $N_w(C)$ is known; it is one.

Thus, based on these bounds and the relationship between p and the number of nodes, it is possible to form conclusions about how highly connected a network should be. This also focuses efforts to increase the reliability of a given network. The objective is to increase $N_w(k)$ for high k , since these terms contribute the most to P_w . The most obvious way of doing this is to 2-connect the network, thus maximising $N_w(C)$ and $N_w(C-1)$.

Knowledge of the structure of the reliability polynomial, if not all of its coefficients, also helps to focus analysis efforts. Stratified sampling based on knowledge of the structure of the reliability polynomial is an effective way of obtaining information about the network reliability via simulation without an excessive amount of computation.

3. STATE SPACE DECOMPOSITION

One approach to finding the reliability of a general mesh network is to decompose the probability space, considering the case that each component is, alternatively, working or failed. Thus, if N is a network and C is a component (a link here) of N , we have

$$P_w(N) = P(C)P_w\left(\frac{N}{C}\right) + (1-P(C))P_w(N-C) \quad (6)$$

where (N/C) is N with C working and $(N-C)$ is N with C failed [2].

This is statement that the events “ C working” and “ C failed” are mutually exclusive, and exactly one of them is always true. Thus the probability that N is working can be found by decomposing the possible states of the network into those where C is working and those where C has failed. In the case examined here C , is a link; and the nodes are perfectly reliable. The technique extends naturally to the case of imperfect nodes.

It is possible to use equation (6) recursively to evaluate $P_w(N)$. The recursion can be terminated whenever it is determined that (N/C) is working or $(N-C)$ has failed. This determination is made based on the criterion for the network working. Suppose the objective is to find the probability that two specific nodes, src and dst can communicate; this is a 2-terminal reliability problem. A network is working, then, if a path comprised entirely of working links exists from src to dst and has failed if cut comprised entirely of failed links exists between those nodes. Thus, whenever it is determined that a path or cut exists, it is possible to halt the recursion.

4. CONCLUSION

The method of the Reliability Polynomial based on knowledge of the structure is an effective way of obtaining information about network reliability via simulation without an excessive amount of computation. The method of State Space Decomposition is better for more complicated structures.

REFERENCES

- [1] Kershenbaum, A.: Telecommunication network design algorithms, McGraw-Hill, Inc. New York 1993
- [2] Hottmar, V.: Výkonnostný model výpočtových systémov ITKR, EDIS – vydavateľstvo ŽU, ISBN 80-8070-338-8

VODEĆI BH TELEKOM INŽENJERING

KONSALTING
PLANIRANJE
PROJEKTOVANJE
INŽENJERING
RAZVOJ SOFTVERA
POSTPRODAJNA PODRŠKA
HARDVER/SOFTVER NADOGRADNJA

KOMUTACIONI SISTEMI
TELEKOMUNIKACIONE MREŽE
PRISTUPNE MREŽE/
GIS TEHNOLOGIJE
PRIJENOSNI SISTEMI/
KABLOVSKI, OPTIČKI
RADIO MREŽE



www.e-comm.energoinvest.com
Hamdije Čemerlića 2, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina
Tel: (**387 33) 703 600; 703 601; Fax: (**387 33) 657 458



OVLAŠTENI PARTNER ZA
BOSNU I HERCEGOVINU

UNIS Telekom d.d. Mostar
Dr. Ante Starčevića 50
88000 Mostar
tel 036 314 407
fax 036 314 408
unis@unistelekom.ba



UNIS Telekom d.d.



Sažetak

U radu je dat opis principa trgovine radiofrekvencijskim spektrom s ciljem efikasnijeg korištenja ovog resursa. Trgovina spektrom predstavlja doprinos tržišnom pristupu upravljanja ovim ograničenim resursom. Prikazane su prednosti ove metode, primjeri trgovine spektrom u praksi, modaliteti, veza između refarminga i trgovine, trgovina u konvergentnom svijetu te primjeri spectrum tradinga u nekim evropskim zemljama. Na taj način se omogućava da radio-frekvencije uvijek budu na pravi način iskorištene i ne može se dogoditi da pojedini operatori imaju dodijeljene blokove frekvencija koje nisu u stanju re-alizirati. Prodajom ili iznajmljivanjem na sekundarnom tržištu ovaj resurs se ponovo oživljava i dobiva na svojoj upotreboj vrijednosti. To je naročito značajno u blokovskim dodjelama frekvencija kod velikih operatora kojima se kroz generalnu licencu dodjeljuju i veće količine spektra nego im je potrebno.

Ključne riječi: trgovina spektrom, sekundarno tržište, prava na korištenje spektra, frequency assignment, efficient use of spectrum

Abstract

This paper describes the methods of spectrum trading which leads to the efficient use of this natural resource. Spectrum trading is the contribution for the market access of this limited resource. The paper gives advantage of this method, examples of spectrum trading in practice, models, connections between trading and refarming, trading in converging world and some examples of spectrum trading in few European countries. In this way it enables that radio frequencies are used in the proper way and it is not possible that some operators have unused blocks of frequencies. With selling and renting this resource on the secondary market, spectrum is reanimated and gets usable value. This is very important in the assignment of frequency blocks to the significant market power operators, who through the general licence get more spectrum that they need.

Keywords: spectrum trading, secondary market, spectrum usage rights, dodjela frekvencija, efikasno korištenje spektra

INDEKS POJMOVA I SKRAĆENICA

- CEPT** – European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
EC – European Commission
EFIS – ERO frequency information system
ERO – European Radiocommunication Office
EU – European Union
FWA – Fixed Wireless Access
NRA – National Regulatory Authority
OFCOM - The Office of Communications, UK regulator
PBR – Private Business Radio
PMR – Professional Mobile Radio
PAMR – Public Access Mobile Radio

1. UVOD

Program nacionalnog upravljanja spektrom, osim planiranja, inžinjeringu, kontrole i automatizacije, treba da bude usmjeren i na ekonomiju spektra.

Trgovina spektrom je mehanizam pomoću kojeg se prava i bilo koje pripadajuće obaveze za korištenje spektra mogu prenositi s jednog korisnika na drugog na način koji se bazira na tržišnoj razmjeri za određenu cijenu. Za razliku od ponovne dodjele spektra, kod trgovine je pravo korištenja spektra preneseno dobrovoljno s postojećeg korisnika, a cijenu plaća novi korisnik. Postojeći korisnik može potpuno ili djelomično zadržati spektar.

Trgovina spektrom doprinosi efikasnjem korištenju frekvencija zato što se trgovina dešava samo tada kada je spektar vredniji novom nego starom korisniku, reflektirajući se na veću ekonomsku korist novih korisnika koji očekuju da izvuku dobit od stečenog spektra.

Međutim, ova efikasna povećanja neće biti realizirana ako su troškovi transakcije veoma veliki, a jedan od ciljeva bilo kojeg režima trgovine spektrom je držati troškove transakcije niskim. Nakon svega cilj je da se omogući uspostavljanje brzog i jeftinog mehanizma prijenosa. Ako se i kupac i prodavac poнаша racionalno i poštuju transakcije i ako trgovina ne uzrokuje vanjske efekte (tj. antikonkurentno okruženje ili interferenciju koja se ne može tolerirati), onda se može zaključiti da trgovina spektrom doprinosi većoj ekonomskoj efikasnosti i ističe transparentnost, pokazujući prave mogućnosti cijene koštanja spektra.

2. TRGOVINA SPEKTROM

Trgovina spektrom je jedna od mjera koja može biti korištena pri preuređenju (refarmingu) frekvencijskog spektra. Naprimjer, mrežni operatori s dodijeljenim frekvencijskim blokovima na nacionalnom nivou mogli bi prodavati spektar drugim korisnicima za različite primjene, naročito u ruralnim područjima, gdje su zahtjevi za servisima mali i gdje se zahtjeva manja širina opsega. Istovremeno, trgovina spektrom omogućava efikasnije korištenje spektra, što pomaže da se ci-

Ijevi upravljanja spektrom postignu na prirodniji način, na tzv. samoregulirajući način. Ona obezbjeduje stimulans za postojeće operatore da ustupe spektar koji nisu zahtijevali ili koji ne žele koristiti novim ulagačima koji korištenje mogu učiniti efektivnijim i postići veći profit.

U slučaju kada su se frekvencijski opsezi korišteni za TV radio difuziju konvertovali u prava na spektar kojim se moglo trgovati, npr. u Novom Zelandu 1995. godine, trgovina spektrom je omogućila da se formira četvrti televizijski kanal, koji je pokrio 70 % populacije, iako se nije očekivalo da ima dovoljno spektra za novog operatora. Trgovina je na taj način vodila dinamičnijoj i produktivnijoj efikasnosti korištenja spektra kao dijela ekonomije i boljim ekonomskim performansama u cjelini.

Međutim, vidljivo je da trgovina spektrom neće zamijeniti cijelu strukturu tradicionalnog upravljanja spektrom, i to nije potpuna zamjena za planiranje i regulaciju spektra. Trgovina i slični tržišno upravljeni načini samoreguliranja mogu samo biti korišteni kao pomoć administrativnim mjerama i zahtjevima koji su jasno postavljeni zbog efektivnosti, ne zadirući previše u regulatorni okvir.

Trgovina spektrom pokriva niz mogućnosti od direktnе promjene vlasništva do dodjele bez promjene korištenja u naprednije varijante, gdje dodjela može biti izdijeljena ili izmiješana i može voditi promjeni korištenja. Nije sve od ovoga jednako primjenjivo na sve servise i nešto je bolje imati ekskluzivno na nacionalnom nivou nego dijeliti na lokalne dodjele, a izvjesno je i da će ovaj vid tržišnog principa zahtijevati efektivan ali nenametljiv regulatorni okvir, kako bi se obezbijedila usklađenost s međunarodnim obavezama.

3. PREDNOSTI TRGOVINE SPEKTROM

Trgovina spektrom može ponuditi značajnu korist, čineći spektar brže raspoloživim za nove servise i aplikacije, i to je potencijalni koristan alat za preuređenje spektra. Postojanjem trgovine ne prestaje značaj regulative u oblasti

radiokomunikacija, koja će nastaviti da obezbjeđuje usklađenost s međunarodnim obavezama i izbjegavanje štetnih smetnji. Regulativa je potrebna kako bi obezbijedila da dodijeljeni spektar bude efektivno iskorišten specijalno ukoliko trgovina bude dozvoljena tamo gdje nema dovoljno inicijative kroz određivanje cijena.

Osnovne prednosti su:

- optimalno korištenje spektra,
- inicijativa za efikasno korištenje spektra,
- brži pristup novim ulagačima i manje neizvjesnosti,
- povećana fleksibilnost,
- jednostavnija administracija i manje birokratije,
- logičan slijed događaja upravljanja spektrom baziranim na tržištu.

Trgovina ima relevantne indirektne efekte, omogućavajući nosiocima dozvola da se šire brže nego što je to inače slučaj i pojednostavljajući dobivanje spektra novim potencijalnim ulagačima na tržištu. Ukoliko je trgovina spektrom kombinirana s većom liberalizacijom prava na korištenje spektra, moglo bi biti stimulativno za postojeće operatore da investiraju u nove tehnologije, kako bi se zaštitili od novih ulagača u odsustvu drugih barijera (tj. neraspoloživosti spektra). Na osnovu navedenog, može se zaključiti da trgovina spektrom pomaže konkurenčiju na tržištu.

4. TRGOVINA SPEKTROM U PRAKSI

Trgovina spektrom nije jednako pogodna za sve tipove radio-servisa i ima mnogo različitih varijanti trgovine spektrom. Potrebno je naglasiti fleksibilan pristup koji trgovinu spektra primjenjuje selektivno i prilagođava karakteristikama primjene koja je u pitanju. Nacionalna regulatorna tijela treba da vode računa o nacionalnim okolnostima, ciljevima i prioritetima u odlučivanju kada i kako uvesti trgovinu spektrom.

4.1. Limitirajući faktori

Razmatrajući da li treba dozvoliti trgovinu pojedinih kategorija licence,

faktori koje treba uzeti u obzir uključuju sljedeće:

- **Određivanje cijena spektra** - Treba primijetiti da se trgovina spektrom nadograđuje na određivanje cijena i nije samo ograničena na dozvole koje se dodjeljuju putem tendera. Nivoi naknada dozvola koje odredi administracija mogu biti osnova za dalju trgovinu spektrom. Ako se cijene određuju na osnovu troškova, još može biti šanse za trgovinu, ali je tada neophodna dodatna regulativa da bi se spriječile neželjene špekulacije.
- **Ponuda i potražnja** – Dozvole i daje može direktno izdavati nacionalna administracija u većini slučajeva kroz tržiste i manja je potreba za trgovinom tamo gdje administracija može podmiriti potrebe korisnika. Bilo koja vrsta ograničenosti uslov je za postojanje trgovine. To je slučaj i sa spektrom ukoliko je potražnja veća od ponude.
- **Količina i trajanje pojedine frekvencijske dodjele (assignment)**
 - Postoji više područja rada za kreativnu trgovinu, gdje individualne dodjele zauzimaju mjerljivu širinu opsega, a šire geografsko područje nije izdijeljeno. Za relativno male dodjele, kao što su individualni privatni poslovni radio-sistemi ili fiksni linkovi, manje je vjerovatno da će biti izvodljiva potpodjela i imati prednost.
- **Kompleksnost frekvencijskog plana** – Trgovina može komplikirati centralno planiranje spektra, specijalno gdje veliki broj individualnih dodjela mora biti smješten u ograničeni spektar, a primjenjuju se strogi kriteriji planiranja. U nekim slučajevima, npr. u fiksnim linkovima ili privatnom poslovnom radiju, promjene na granici pojedinih dodjela mogu imati šire implikacije na ukupni frekvencijski plan, a centralno planiranje spektra od nacionalnog regulatornog tijela (NRA – National Regulatory Authority) može postići veću efikasnost spektra nego tržiste.

4.2. Načini trgovine spektrom

Spektrom se može trgovati na različite načine. Korisnici radio-spektra imaju različite potrebe za spektrom. Maksimalna dobit se postiže ako mnoštvo mogućnosti zadovoljava različite zahtjeve. Neke od glavnih varijanti su:

- **Trajanje dodjele** – Neki korisnici zahtijevaju spektar na kratkoročnoj osnovi, drugi ga trebaju na duži period. Da bi se slijedila analogija s drugim stvarima, npr. hotelska soba može biti bukirana za jednu noć, stan može biti unajmljen za period od jednog mjeseca, ili kuća može biti kupljena u trajno vlasništvo, slično je i s radio-spektrom.
- **Agregacija i potpodjela** – Neki korisnici žele mijenjati geografske ili frekvencijske granice dodjela, spajajući ih ili dijeleći. Podjela će, vjerovatno, biti najbolja tamo gdje prodavač ima nacionalnu ili regionalnu dodjelu.
- **Promjena korištenja** – Neki korisnici bit će zadovoljni da koriste spektar bez izmjena korištenja, drugi će željeti da ga koriste za različite primjene. Kao jedna krajnost, dodjele bi mogле biti definirane nivoom radiofrekvencijskih emisija na njihovim geografskim i frekvencijskim granicama bez drugih ograničenja na korištenje. Ovaj pristup je usvojen u Novom Zelandu i Australiji. Međutim, ovaj nivo fleksibilnosti ne može biti izvodljiv pod različitim uslovima koji egzistiraju u Evropi.

Omjer u kojem promjene korištenja mogu biti dozvoljene zavisiće od toga da li se radi o frekvencijama koje su predmet međunarodne harmonizacije i mogućnosti za smetnju s drugim korisnicima. U sklopu ovog ograničenja moguće je izvjesna fleksibilnost unutar odabranih tehničkih parametara koji zadovoljavaju međunarodne kriterije i minimiziraju interferenciju specijalno na višim frekvencijama ili spektru koji nije zauzet. Generalno je pravilo da veća fleksibilnost daje više mogućnosti za trgovinu i veću potencijalnu korist.

4.3. Mehanizmi tržišta

Tržište je to koje kupce i prodavce drži zajedno. Da bi se taj proces pojednostavio, mogu se uključiti nacionalna regulatorna tijela (NRA – National Regulatory Authority) da povežu kupce i prodavce. Kompleksniji mehanizam uključuje posrednike ili neku vrstu ‘razmjene spektra’, koja bi mogla biti još efektivnija. Također, potrebno je imati ažuriran i javno objavljen frekvencijski registar kao značajnu pomoć tržištu. Posrednici koji dobiju spektar za preprodaju mogu olakšati prilike na tržištu. Neohodno je da obezbijede da se ostvare kriteriji tehničke konkurenčije, finansijske stabilnosti, integriteta, nezavisnosti, nepristranosti i objektivnosti i da ne dodjeljuju dozvole na način koji će prouzrokovati smetnje drugim radijskim korisnicima, koji nisu njihovi vlastiti korisnici. Sve ovo je neophodno balansirati. Korist tog pristupa je evidentna naspram mogućih implikacija za ukupnu efikasnost spektra fragmentacijom nadležnosti nad upravljanjem spektrom. Korištenje posrednika dosljedno je ukoliko je NRA prije toga usvojila režim sekundarne trgovine ili režim određivanja cijena spektra. Poželjno bi bilo da sekundarna trgovina bude alat upravljanja spektrom zasnovan na tržišnim principima.

4.4. Jasnoća i sigurnost

Nejasnoće u vezi s pravima na spektar ili zaštitom korisnika ugrožavaju ili zaustavljaju razvoj tržišta, tako da će razvoj trgovine biti promoviran ako licence sadrže:

- jasno definirana prava, uključujući zaštitu od interferencije;
- uslove i trajanje licenci odgovarajuće dužine s opravdanim planom produženja i bezbjednosti zakupa. NRA će željeti da sačuva mjere kontrole nad spektrom, koji je značajan nacionalni resurs i biti u mogućnosti ukoliko je potrebno posredovati s bilo kojim novim međunarodnim harmonizacijskim mjerama ili iz razloga poštivanja javnih smjernica.

4.5. Informacije i povjerljivost

Tržište zahtijeva informacije, kako bi efikasno funkcioniralo. Potencijalni prodavci treba da mjere potrebe i objavljivati višak dodjela. Potencijalni kupci treba da znaju šta je raspoloživo te zahtijevane cijene, da bi mogli identificirati mogućnosti za inovacije i razvoj. Nacionalne regulatorne vlasti na odgovarajući način obezbjeđuju informacije kroz objave detalja o dodjelama. Međutim, neke informacije o dodjelama treba da ostanu povjerljive iz razloga nacionalne sigurnosti, provođenja zakona ili komercijalne osjetljivosti. Potrebno je napraviti pažljiv balans između ovih konkurentskih razmatranja.

Odluka Evropske komisije o regulatornom okviru za radio-spektar¹ (676/2002/EC) u članu 5. utvrđuje uvjete prema kojima će zemlje članice EU objavljivati njihove nacionalne planove namjene i informacije o pravima, uslovima, procedurama i naknadama koje se odnose na korištenje radio-spektra. Također je utvrđeno da će te informacije održavati ažurirane i raspoložive za javnost kroz odgovarajuće baze podataka.

Trideset prvog januara 2002. godine Evropski ured za radiokomunikacije ERO (European Radiocommunication Office) pokrenuo je novi frekvencijski informacijski sistem koji se naziva EFIS (ERO frequency information system) i koji je alat za poređenje nacionalnih tabela namjene. EFIS doprinosi CEPT pravilima o harmonizaciji i transparentnosti, kao i EU ciljevima i politici. Uz pomoć EFIS-a moguće je pretraživati i upoređivati korištenje spektra širom Europe, kao i dobiti neke informacije o CEPT aktivnostima, specifikacijama radio-smetnji u skladu sa R&TTE direktivom i drugom nacionalnom i međunarodnom regulativom.

4.6. Špekulacije

Trgovina može voditi ulasku na tržište špekulanata, kako bi se dobio spektar,

¹ Decision 676/2002/EC of the European Parliament and of the Council of 7 March 2002 on a regulatory framework for radio spectrum policy in the European Community (Radio Spectrum Decision)

očekujući povećanje njegove vrijednosti. U ekonomskoj teoriji špekulacije nisu obavezno neželjene i mogu čak biti korisne ako obezbjeđuju osnovnu likvidnost. To može poslužiti operatorima da mudro zadrže neki spektar za buduće nepredviđene situacije i poslovanja, s vremenom na vrijeme mogu dobiti licence unaprijed, a u rezervi mogu imati neiskorišten spektar, npr. ukoliko im bude potrebno za pokretanje mreže. Međutim, ako spektar bude zadržan nekorišten, to može postaviti barijeru novim ulagačima na tržištu i izložiti ih značajnim troškovima. To neće biti, vjerovatno, zbog toga što špekulacije imaju cijenu: ako će te frekvencije imati vrijednost na sekundarnom tržištu, špekulacije će se suočiti s mogućim troškovima.

Alati kojima se prevazilaze neželjene špekulacije uključuju uskraćivanje saglasnosti za prijenose, primjene administrativnih stimulativnih cijena spektra, provedbu "use it or lose it" uslova u licencama ili nametanje neočekivanih taksi. To je kompleksan zadatak koji zahtijeva pažljivu analizu. Ukoliko se nosilac dozvole spriječi da pravi profit na sekundarnom tržištu, sekundarno tržište neće raditi. Profit je samo stimulativan kada pokreće tržište. Ovdje je ponovo ilustrirana važnost upravljanja frekvencijama na tržišnom principu.

5. MODALITETI TRGOVINE SPEKTROM

Trgovina spektrom mogla bi pokriti čitav niz mogućnosti, od neposredne izmjene vlasništva dodjele bez izmjene korištenja do naprednijih varijanti, gdje dodjele mogu biti podijeljene ili izmijenjane i koriste se izmjenjene. Nije sve od toga jednako primjenjivo na sve servise i nešto može bolje odgovarati nacionalnoj dodjeli kanala na ekskluzivnoj osnovi nego zajedničke lokalne dodjele.

EC Okvirna direktiva² daje neke uslove za uvođenje trgovine spektrom. To su da trgovina treba da bude prijavljena administraciji, da bude javna i da ne

rušava konkureniju ili rezultira izmjeni korištenja harmoniziranog spektra širom Evrope.

5.1. Trgovina nepromjenjivim pravima na spektar

Prijenos nepromjenjenih prava na spektar je nešto što je u nekim evropskim zemljama već moguće prema trenutnim radio ili telekomunikacijskim zakonima ili u najmanju ruku nije zabranjeno. U tim slučajevima licenca je prenesena na drugog nosioca s neizmijenjenim uslovima putem administracije ili nakon što informiraju administraciju. To može biti praktično kada je kompanija prodata ili kada kompanija više ne treba licence, te ukoliko radio-oprema nije više potrebna za rad te kompanije. Ovaj vid trgovine je najispravniji i ne daje mogućnost izobličenja harmoniziranog spektra, iako bi se moglo desiti narušavanje konkurenije u slučajevima kada jedna kompanija kupuje veći broj dozvola.

5.2. Trgovina pravima na spektar gdje je moguća promjena korištenja

Za razliku od trgovine nepromjenjivim pravima na spektar, postoji mogućnost da se uvede trgovina spektrom tamo gdje korištenje spektra može biti promjenjeno. U tim slučajevima moraju se uzeti u obzir specifični uslovi, kao što je izbjegavanje štetnih smetnji drugim korisnicima i poštivanje međunarodno harmoniziranog spektra. Također, treba da se poštuju precizni zahtjevi od NRA, a treba imati u vidu i različite oblike trgovine za razne servise.

5.3. Oblici trgovine spektrom

Evropska komisija je identificirala sljedeće metode prijenosa prava na korištenje spektra:

- Prodaja – Vlasnišvo prava na korištenje preneseno je na drugog korisnika;
- Ponovna kupovina – Pravo korištenja je prodato drugom korisniku uz sporazum da će prodavač ponovo kupiti pravo na korištenje u fiksirano vrijeme u budućnosti;
- Leasing – Pravo na korištenje je preneseno na drugog korisnika za definirani period vremena, ali vlasništvo,

² Directive 2002/21/EC on a common regulatory framework for electronic communications networks and services of 7 March 2002

uključujući nametnute obaveze, ostaje na originalnom vlasniku prava korištenja;

- Hipoteka – Pravo na korištenje koristi se posredno za kredit, po analogiji za hipoteku na kuću ili stan.

Što se tiče same trgovine, postoji više različitih mehanizama kako ona može biti korištena, a oni uključuju:

- Bilateralne pregovore: Prodavac i budući kupac direktno pregovaraju u vezi s prodajom i nikakva posebna ograničenja nisu uspostavljana od regulatora;
- Aukcije: Mogući kupci imaju mogućnost da sebi pribave prava na korištenje spektra dostavljajući ponude u sklopu aukcije kada je tip aukcije odabran i pravila postavljena od prodavca;
- Brokerstvo: Kupci i prodavci zaposle brokera da pregovara s njihovim odborenjem i ugovornim terminima pod kojim se transfer prava na korištenje može obaviti;
- Razmjena: Ovo se odnosi na uspostavljanje komercijalne platforme za trgovinu slično kao berza, gdje se transfer obavlja u skladu sa specifičnim pravilima koje uspostavljaju članovi.

Ovi mehanizmi se najčešće koriste u kombinaciji. Prije svega, aukcija može biti korištena kao osnovno sredstvo dodjele, spektar kojim se može trgovati naveden je u procesu razmjene, a kasnije bilo koji direktni pregovori ili brokerstvo pomažu prilikom transfera prava na spektar. Za tu svrhu se mogu delegirati menadžeri spektra za upravljanje pojedinim opsezima u ime regulatora

6. TRGOVINA SPEKTROM I REFARMING

Trgovina spektrom je jedan od alata koji može biti korišten kao alternativa ili dodatak regulativi, da bi se olakšao proces preuređenja spektra kao što je prikazano u sljedećim primjerima:

- *Izmjena korištenja frekvencije.* Blok frekvencijskog spektra postojećeg operatora mogao bi biti dat kao pojedinačan novom korisniku putem aukcije za različite primjene. Postojećim operatorima može biti data sigurnost

za zakup na određeno vrijeme, a nakon toga mogu napustiti opseg. Međutim, novi ulagač mogao bi kupiti dodijeljeni opseg da bi dobio raniji pristup.

- *Promjena namjene.* Mrežni operator s nacionalnom dodjelom može prodavati spektar drugim korisnicima za različite primjene u ruralnim područjima, gdje su zahtjevi za servisima mali i gdje se zahtjeva manja širina opsega. Naprimjer, primjena u tim područjima može se mijenjati s mobilne celularne na fiksni bežični pristup.
- *Izmjena u frekvencijskom planu.* Trgovina spektrom obezbeđuje stimulans za postojeće operatore da ustupe spektar koji nije zahtijevani ili koji ne žele koristiti, novim ulagačima koji korištenje mogu učiniti efektivnijim i postići veći profit. To je primjer konverzije TV kanala u prava na spektar kojim se može trgovati dat ranije. Na ovaj način su se riješile potrebe za spektrom, iako je to bilo nepredvidivo ranijim načinima dodjele.
- *Kratkoročna izmjena namjene.* Stalni korisnici mogli bi prodavati prava za privremeno korištenje nekih dodijeljenih kanala za kratkoročne svrhe, kao što su sportski događaji i sl. Naprimjer, za neke kanale mogao bi se prodati pravo na spektar, jer imaju samo dnevni program, dok drugi operatori mogu raditi cijelu noć i upotrijebiti te kanale za zabavne sadržaje.

7. TRGOVINA SPEKTROM U KONVERGENTNOM SVIJETU

Trgovina spektrom sve više postaje alat upravljanja spektrom u konvergentnom svijetu, gdje se spektar koristi fleksibilno bez obzira na opseg i primjenu (više aplikacija može biti primjenjeno na različitim frekvencijskim opsezima) kao rezultat softverski definiranog radija. To je u suprotnosti s tradicionalnom situacijom, gdje je utjecaj ekonomije obima proizvodnje radio-opreme vodio specifičnom korištenju u specifičnom frekvencijskom opsegu.

U budućnosti je važna samo raspoloživost samog spektra i njime može biti trgovano uprkos aplikacijama (servis neutralnost). Tržište zatim odlučuje koju vrstu korištenja i aplikacije će ponuditi, tako da će se preuređenje spektra indirektno razvijati kao rezultat trgovine spektrom. To se, također, može primijeniti na ideju da frekvencije u konvergentnom svijetu nisu više tako deficitarne kao u tradicionalnim načinima dodjele, gdje je namjena specifičnih frekvencijskih opsega data ekskluzivno za specifično korištenje ograničenom broju korisnika.

EC predlaže trgovinu spektrom kao efikasnu mjeru, a prava na korištenje spektra u opsezima koji se koriste za "terestrijalne elektronske komunikacijske servise" (uključujući mobilne komunikacije, radio-difuziju i podatkovne komunikacije) trebalo bi da ima mogućnost da se njima trguje. To znači da bi se u tim specifičnim opsezima dozvola za korištenje spektra mogla slobodno prenosi između vlasnika koji mogu birati gdje će raditi i odlučiti o tome da li cijena prava na spekter čini taj rad isplativim.

Bilo ko da je vlasnik prava na korištenje spektra treba da bude u stanju da bira kako će ga koristiti sve dok ne interferira s drugim korisnicima. To će olakšati i inovatorima pristup spektru, a njihovim inovacijama pružiti najbolju šansu da budu uspješni u dijelovima spektra gdje se nalaze. Nekoordinirano nacionalno uvođenje trgovine sa ili bez šanse za korištenje može voditi dodatnoj fragmentaciji. Tako da je korist veća ako se obezbijedi koordiniran način na nivou EU, kako bi se dopustilo kompanijama koje to žele da postave za cilj pan-evropske servise i ekonomičnost.

7.1. Trgovina spektrom u Evropi

Još od septembra 2003. godine Evropa traži da se spektrom može trgovati. Nosiocima dozvola treba dozvoliti prodaju prava na spektor. Evropska komisija je inicirala izradu studije, kako bi ispitala mogućnost trgovine radio-spektrom širom Evrope.

Dopuštajući sekundarnu trgovinu radio-spektra za elektronske komunikacijske servise, kao što je mobilna telefo-

nija i radio-difuzija, mogla bi se kreirati potrebna fleksibilnost u trgovanim ovim ograničenim resursom. Vjeruje se da će nastavljeno povećanje novih mobilnih i radiodifuznih servisa imati veliku dobit, dajući ovlasti kompanijama koje se time bave da kupuju ili prodaju njihova prava na frekvencije.

Što se tiče praktičnog uvođenja trgovine spektrom, postoji mnogo izazova koja se za to vežu i raspoložive opcije za ostvarivanje toga variraju. Razmatran je niz opcija u pojedinačnim zemljama članicama, koji vodi ka usvajanju prilično neuporedivih pristupa, kako bi se onemoćilo da se trgovina spektrom realizira na evropskom nivou. Na osnovu analize svih studija, procijenjeno je da postoji potreba za zajedničkim pristupom uvođenju trgovine spektrom u EU.

Godine 2004. nastavlja se razmatranje trgovine spektrom i regulatori u nekoliko evropskih zemalja razmatrali su dva oblika trgovine spektrom. Najviše kontroverzi podrazumijeva «liberalizacija» koja dopušta kupovinu spektra od konkurenata i zatim mijenja naznačeno korištenje spektra. Naprimjer, to je omogućilo broadcasting kompanijama da prodaju spektor kompanijama mobilne telefonije. Uobičajenja varijanta trgovine spektra ne dopušta takve promjene. U SAD-u prodaja i trgovina spektrom je već odavno dozvoljena. Regulatori povremeno dopuštaju promjene u korištenju spektra i te promjene moraju biti odobrene po principu "case by case". Bez obzira na to da li će evropski regulatori dozvoliti promjene u korištenju spektra, pojednostavljenje pravila u vezi s trgovinom spektra činit će značajan pomak u cijelom procesu upravljanja spektrom.

Današnja regulativa podrazumijeva liberalnija pravila. Mrežni operatori suočavaju se s velikim neizvjesnostima u vezi s njihovim postojećim poslovnim modelima. Međutim, alternativne bežične tehnologije, kao što je WiMax, mogu povećati popularnost korištenja ukoliko spektor postane brže raspoloživ. Može se vidjeti brzo pojavljivanje manjih ulagača koji učestvuju u ovom procesu na račun sve agresivnijih investitora.

Spectrum Trading Today		
Countries	Spectrum Trading is allowed	Change in spectrum use permitted on transfer
Australia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Bulgaria	<input checked="" type="checkbox"/>	
El Salvador	<input checked="" type="checkbox"/>	
France	<input checked="" type="checkbox"/>	
Guatemala	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Hungary	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ireland	<input checked="" type="checkbox"/>	
New Zealand	<input checked="" type="checkbox"/>	
Poland	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Slovenia	<input checked="" type="checkbox"/>	
Spain	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sweden	<input checked="" type="checkbox"/>	
United Kingdom	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Source: ITU World Telecommunications Regulatory Database 2005

Slika 1.
Trgovina spektrom – Pregled po zemljama

Evropski pružaoci usluga mobilnih komunikacija će uskoro moći lakše trgovati dijelovima spektra zbog uzborkavanja zrelog tržišta mobilnih komunikacija, naročito mobilne telefonije i njegovog otvaranja mogućim investicijama iz inozemstva.

7.1.1. Regulatorni okvir

Pravni okvir za trgovinu spektrom dat je članom 9. Okvirne direktive koja daje definiciju upravljanja spektrom, uključujući i trgovinu spektra.

Evropska komisija kao administrativni dio EU razmatra korištenje radio-spektra za elektronske komunikacijske servise kao fundamentalnu komponentu ekonomskog razvoja u EU. Ključni korsički servisi, kao što su radio-difuzija i mobilne komunikacije, kao i osnovni servisi, poput transporta, komunalnih usluga i hitnih službi, zavise od kontinuirane raspoloživosti radio-spektra.

U potrazi za većom fleksibilnošću povećan broj zemalja članica EU može donijeti značajnu ekonomsku korist, unapređujući fleksibilnost korištenja prava koja se odnose na individualne radio-frekvencije, dopuštajući da se tim pravima trguje. Radiokomunikacijsko tržište doživjava brze i nepredvidive promjene, tako da trgovina spektrom može omogućiti dinamičan način sticanja i raspoređivanja prava na korištenje spektra. To sva-kako vodi efikasnijem korištenju spektra.

Sve to je dovelo do toga da mnogo zemalja članica EU omogućava uvođenje trgovine spektrom, naročito danas, kada je kroz EU regulatorni okvir za elektronske komunikacije dopušteno zemljama članicama da naprave odrednice za korsičke spectra, kako bi prenosili prava na korištenje radio-frekvencija.

Međutim, postoji niz izazova u vezi s praktičnim uvođenjem trgovine spektrom, a raspoložive opcije za njihovo rješavanje variraju.

Prava na korištenje datih radio-frekvencija u Evropi dodijeljena su organizacijama ili pojedincima po principu prvi došao, prvi uslužen ("first come, first served"), odnosno tzv. pristup po pristiglom zahtjevu. Izuzetak je kada se određeni frekvencijski opsezi razmatraju kao

deficitarni resurs i u tom slučaju licence se često dodjeljuju ograničenom broju organizacija, slijedeći „beauty contest” ili aukciju (kao što je slučaj za licencu za mobilnu telefoniju).

Ranije je transfer prava na spektor bio ograničen. Međutim, uvođenjem novog EC okvira, omogućeno je zemljama članicama da prebacuju prava korištenja spektra s jedne kompanije na drugu. Evidentan je i povećan pritisak od industrije na vlade u evropskim zemljama da omoguće sekundarno tržište za trgovinu spektrom (npr., prodaju prava na spektor za 3G).

Iz EU perspektive – ekonomska korist od jedinstvenog evropskog tržišta je osnovni cilj izgradnje EU pristupa u vezi s uvođenjem trgovine spektrom.

Ključni elementi režima trgovine spektrom u Okvirnoj direktivi su:

- Zemlje članice nisu obavezne da implementiraju trgovinu spektrom;
- Transfer prava na korištenje radio-frekvencija s jedne firme na drugu;
- Kompanija se obavezuje da prijavi NRA svoje namjere prijenosa prava na korištenje frekvencija;
- Svaki prijenos će biti javan;
- Prava na korištenje radio-frekvencija su prenesena u skladu s procedurama koje daje NRA;
- Konkurenčija ne smije biti narušena kao rezultat bilo kakve transakcije;
- Imajući u vidu harmonizirano korištenje radio-frekvencija, prijenos će rezultirati izmjeni korištenja radio-frekvencija.

U skladu s principima okvirne directive, značajno će se zaštititi javni interes, posebno potreba da se obezbijedi transparentnost i nadgledanje takvih prijenosa od regulatora.

7.1.2. Licenciranje i trgovina spektrom

Važan aspekt sve respektabilnijeg pristupa regulativi je da će Direktiva o autorizaciji „generalna autorizacija”, koja zahtijeva samo prijavljivanje u registar, bilježeći da su postignuti minimalni uslovi u budućnosti, biti norma za elektronske komunikacijske servise i mreže s mogućnošću zahtijevanja individualnih prava korištenja strogo ograničenih

resursa, kao što su frekvencije i brojevi. Prema toj direktivi individualna prava korištenja mogu biti postignuta pomoću konkurentne ili komparativne procedure izbora. Trgovina spektrom ili transfer prava na korištenje radio-frekvencija drugim poduzećima je eksplicitno dozvoljena prvi put. Međutim, dopuštanje trgovine spektrom nije obavezujuće. U slučaju da zemlje članice nisu implemen-tirale trgovinu spektra u skladu s članom 9. Okvirne direktive, mora biti ispunjen izvjestan broj uslova, kao što je navedeno u dijelu 7.1.1.

Pravo na korištenje radio-frekvenci-ja potpuno može biti preneseno s jedne firme na drugu, ustupajući prava na korištenje s jedne firme na drugu, grupišući ili dijeleći frekvencije koje su već nami-jenjene drugom.

7.1.3. Teoretske mogućnosti

Postoji više mogućih stepena prijeno-sa prava i obaveza za potencijalne kupce i prodavce, kako bi međusobno postigli najbolje mogućnosti i maksimizirali ekonomsku korist od trgovine. Transfer može podrazumijevati prava i obaveze koje potpuno prelaze s prodavca na kupca i prava i obaveze koje se nastavljaju i za kupca i za prodavca.

Način uređenja prava korištenja ra-dio-frekvencija je transfer prava i oba-veza. Ta prava mogu biti raspoređena na razne načine, a najčešći su:

- prodaja,
- leasing,
- grupiranje frekvencija,
- transfer licence zajedno s pravom na korištenje radio-frekvencija,
- zajednička podjela s pravima koja uključuju pravo na korištenje.

7.2. Primjeri trgovine spektrom

Počeci trgovine spektrom u svijetu zabilježeni su još 1987. godine u Novom Zelandu, gdje je trgovina spektrom nastala kao potreba za novim pristupom upravljanja spektrom. Do tada je, kao i u većini ostalih zemalja, vladao centrali-zirani administrativni sistem, ali je zbog malog broja korisnika i ograničenog te-lekomunikacijskog tržišta dobro funkci-onirao. Cilj je bio pomjeriti se sa sistema

“prvi došao prvi uslužen” na neku vrstu tržišno baziranog sistema. Predložen je sistem upravljanja spektrom i dodjela bazirana na trgovini pravima na korište-nje spektra. Usvojen je mehanizam koji je stupio na snagu 1. aprila 1988. godine. Propisi su bili obezbijeđeni i za nastavak postojećeg licencnog režima i za režim upravljanja spektrom zasnovan na trgo-vini pravima.

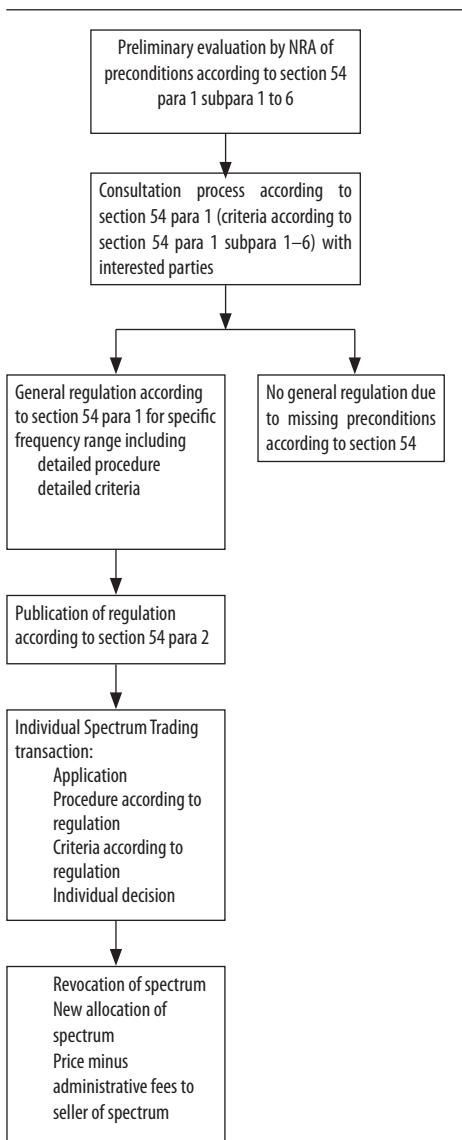
Na Slici 1. prikazani su rezultati stanja primjene trgovine spektrom u pojedinim zemljama iz decembra 2006. godine³. U narednom periodu nastavljen je porast broja zemalja koje su dozvolile trgovinu spektrom, ali je još interesan-tnije spomenuti da su pojedine zemlje, kao npr. Velika Britanija, razvile detaljne mehanizme prijenosa prava na korištenje spektra kroz razvoj nacionalne regulati-ve. Regulativa koju je potrebno mijenjati može se uglavnom podijeliti u dvije sku-pine: zakoni i pravila. Kad je riječ o pra-vilima, potrebno je, prije svega, kreirati i evidentirati prava na imovinu za spektar kojim se može trgovati, a zatim propisa-ti načine upravljanja u slučaju smetnji, tehničke parametre i standarde, održavati postojeće standarde za konvencionalni spektar kojim se ne trguje i uspostaviti procedure autorizacije.

U narednom dijelu dati su primjeri uvođenja trgovine spektrom u pojedinim zemljama Evrope. U svim tim zemljama najprije je kroz zakon definirana moguć-nost i postojanje ovog tržišnog principa. Moglo bi se reći da je od 2002. godine evidentan napredak u ovoj oblasti.

7.2.1. Trgovina spektrom u Njemačkoj

Njemački zakon o telekomunikacija-ma *German Telecommunication Act 2003* (GTKG-E 2003) sekcija 54 razmatra režim trgovine spektrom. Zakon daje mogućnost regulatornom tijelu da nakon konsultacija sa zainteresiranim stranama odredi opsege za trgovinu i da uspostavi okvir i procedu-ralna pravila u slučajevima:

3 Radio Spectrum Management, Introducing Spectrum Trading, December 2006, Adrian M. Foster, McLean Foster & Co. Executive Level Training for Regulators and Policy-Makers



Slika 2.

Procedura za trgovinu spektrom u Njemačkoj u skladu sa G-TKG-E 2003

- da postoji interes za trgovinu spektrom u specifičnim dijelovima spektra,
- da se efikasnost korištenja frekvencija povećava,
- primarna namjena nije u suprotnosti s namjenom pomoću trgovine,
- ne narušava se konkurenca,
- postoji pravni okvir u vezi s pravima korištenja i međunarodnim sporazumima o frekvencijama,
- ciljevi regulacije su zaštićeni.

Osim toga, ovim zakonom definirano je da prava na korištenje frekvencija mogu biti prenesena s jednog pravnog subjekta na drugog u slučaju da kompanija prenese sve pravne obaveze. Kao što je navedeno i u Okvirnoj direktivi Evropske komisije, njemačka pravila nalažu da bilo koji transfer bude u skladu s procedurama koje donese i objavi NRA. Treba naglasiti da je za različite opcije trgovina različita. Kako je ovo veoma složen proces, može se vidjeti iz dijagrama na Slici 2., koji prikazuje proceduru trgovine spektrom u Njemačkoj.

Ovo je prilično konzervativan pristup, koji obezbeđuje tržištu nove mogućnosti raspoloživosti putem prava na korištenje radio-spektra. Zbog velikog broja kriterija i visokog nivoa diskrecionog prava zakona NRA, trgovina spektrom u Njemačkoj u ovom periodu nije doprinijela povećanju efikasnosti korištenja spektra.

7.2.2. Trgovina spektrom u Austriji

U julu 2003. godine kompletirane su procedure zahtijevane zakonom u vezi s trgovinom spektrom u ovoj evropskoj zemlji. Novi zakon koji je uskladen s evropskim regulatornim okvirom iz 2002. godine vodio je nekim fundamentalnim promjenama u sistemu, između ostalog, uvođenjem trgovine spektrom. Na početku je trgovini spektrom bio dat minimalan značaj, a pojedinci iz telekomunikacijske industrije su čak bili protiv uvođenja ovog tržišnog principa.

Prema austrijskom zakonu A-TKG 1997, transfer prava na korištenje frekvencija bio je moguć na tri različita načina:

- transfer frekvencija, prenoseći mobilnu telekomunikacijsku licencu na

drugi pravni subjekt zajedno s pravima na korištenje frekvencija;

- pravo na korištenje frekvencija je dobiveno kupovinom dijela sredstava ili cijele firme;
- pravo na korištenje radio-frekvencija je dio imovine kompanije čije dionice su prenesene, tj. spektar je dobiven kroz kupljene dionice.

Bilo koji transfer zahtjeva odobrenje NRA koja će objaviti te odluke. Leasing prava na korištenje radio-frekvencija nije bio dopušten stariom režimom.

Prema novom zakonu, oba navedena prava su još moguća. Međutim, sistem licence zamijenjen je sistemom generalne autorizacije, tako da sistem prijenosa licence nije dio novog zakona. Kao zamjena uveden je sistem prijenosa frekvencija.

Dakle, u Austriji je dozvoljena trgovina spektrom na osnovu zakona A-TKG 2003, ne samo za buduće dodjele nego i one dodijeljene prije stupanja zakona na snagu. Dozvoljen je transfer cijelog spektra, kao i dijelova spektra. Prava i obaveze reguliraju se sporazumom između zainteresiranih strana, a uredbom NRA odobravaju se individualne transakcije. Osim toga, geografsko područje koje je vezano za korištenje frekvencija neće se mijenjati. Mada za to nema kriterija u zakonu, NRA će voditi računa da se ne naruši konkurenca.

7.2.3. Uvođenje trgovine spektrom u Francuskoj

Trgovina spektrom u Francuskoj je dozvoljena u nekim opsezima koji se koriste za civilne telekomunikacije s pravilima koji su u skladu sa stavovima koje je donijela grupa *European Radio Spectrum Policy Group* (bez izmjene korištenja). To su neki dijelovi spektra:

- FWA opsezi (3.5 GHz i 25 GHz): Slučaj s dodjelama 3.5 GHz dozvola je naročito interesantan, pošto su dodjele rađene na regionalnom principu i trgovina spektrom će omogućiti ponovnu izmjenu strukture;
- Pojedini opsezi za PMR, fiksne servise ili fiksne/mobilne satelitske servise, gdje se od trgovine spektrom

uglavnom očekuje da pojednostavi prijenos autorizacije.

7.2.4. Trgovina spektrom u Velikoj Britaniji

U Velikoj Britaniji zabilježeni su prvi počeci 2003. godine, ali je tek 2008. konično donesena odluka o trgovini spektrom sa svim detaljima koji se nalaze u zakonu i odredbama donesenim od regulatornog tijela. Najrelevantniji kriterij za uvođenje trgovine spektrom je pripremljenost tržišta.

UK regulator Ofcom je omogućio trgovinu spektrom, objavljajući Pravila o trgovini. Prvi set tih pravila objavljen je u novembru 2004. godine. U tim pravilima odobreni su različiti tipovi prijenosa:

- prijenos za sve ili pojedine dijelove prava i pridruženih obaveza iz licence, tj. ukupni ili djelomični prijenos;
- prijenos, takav da nosilac prava i pridajućih obaveza zadržava ta prava i obaveze do "isključivanja" originalnog nosioca, ili kao suparnik – tj. "potpuni" ili "konkurentni" prijenos.

Naprimjer, u slučaju 3G dozvole smatrano je da ne treba uvoditi trgovinu dok ne prođu tri godine samostalnog pokretanja servisa prvog licenciranog operatora unutar Veleke Britanije, što je predmet razvoja u pokretanju tržišta za 3G servise.

U sljedećoj tabeli prikazana je dinamika uvođenja trgovine spektrom u UK, kad je riječ o pojedinim radikomunikacijskim servisima.

Trgovina spektrom se odnosi na razvoj sekundarnog tržišta u pravima na korištenje frekvencija. Upotrebljavaju se tržišne metode koje su korištene u inicijalnom izdavanju dozvole za spektar u slučajevima gdje se koriste aukcije i, što je još značajnije, dopuštajući da prava na spektar budu prodavana i kupovana u vremenu trajanja licence, kao i dozvoljavajući izmjenu korištenja određenog spektra. Trgovina obuhvata samo izmjenu vlasništva licence dok liberalizacija obuhvata davanje veće fleksibilnosti korištenja spektra. Termin *trading* se koristi da pokrije i izmjenu vlasništva i fleksibilnost.

8. ZAKLJUČAK

Trgovina spektrom je pomoć pri upravljanju spektrom. Tržište predstavlja efikasan mehanizam za dodjelu i raspodjelu limitiranih prirodnih resursa, kao što je radiofrekvencijski spektar. Primarna dodjela frekvencija u praksi se može pokazati kao nedovoljno produktivna i efikasna, tako da se uz postojanje trgovine spektrom otvara mogućnost za sekundarnu preraspodjelu radiofrekvencijskog spektra, a s ciljem maksimiziranja efekata efikasnog korištenja spektra.

Na tržištu se, praktično, stiče realna slika o potrebama i mogućnostima određenih operatora te se omogućuje da taj resurs bude u rukama onih koji ga na najbolji način koriste i eksplotiraju. Evropska praksa, iskustva pojedinih zemalja i smjernice propisane od relevantnih tijela i organizacija treba da budu vodilja i za Bosnu i Hercegovinu, kad je riječ o uvođenju ovog modela koji u uslovima sve veće upotrebe radio-frekvencija predstavlja jedan novi način kako bi se došlo do univerzalnog cilja, a to je tržište na kome su svi učesnici zadovoljni.

LITERATURA

- [1] ECC Report 16, "Reframing and secondary trading in a changing radiocommunications world", Messolonghi, September 2002
- [2] The economics of antitrust and regulation in telecommunications, Pierre-Andre Buigues, Patrick Rey
- [3] Report ITU-R SM.2012-2, Economic aspect of spectrum management, Geneve 2004
- [4] Spectrum Trading in Germany, Austria and the UK - THE INFLUENCE OF REGULATORY REGIMES AND EVALUATION OF CRITERIA ON COMPETITION IN THE EUROPEAN MOBILE TELECOMMUNICATIONS SECTOR by Ewald Lichtenberger, Partner, Wolf Theiss, Attorneys at Law, A-1010 Vienna, Schubertring 6, Paper for the ITS Conference, Helsinki, August 23rd /24th, 2003
- [5] A Statement on Spectrum Trading, Ofcom, UK, 2004

2004	2005	2006	2007	Other
Analogue PAMR	Wide Area PBR	Emergency services	2G and 3G mobile	Mobile satellite
National paging	On-site PBR		PMSE	Satellite shared with terrestrial services
Data networks	Digital PAMR		Aviation and maritime communication	Radio broadcasting
National and regional PBR	10 GHz PWA		Radionavigation (Radar)	Television broadcasting
Common Base Stations	32 GHz			
Fixed wireless access	40 GHz			
Scanning telemetry				
Fixed terrestrial links				

Slika 3.
Dinamika uvođenja trgovine spektrom u UK

**OPTIMIZE
YOUR BUSINESS**

Croatia's partner in managed services optimizes every
telecommunications operator's network to deliver
opportunities and value you can't afford to miss.
proven performance.

ericsson.com/managedservices

TALK TO US ABOUT
MANAGED SERVICES

ERICSSON 
TAKING YOU FORWARD

Ericsson je vodeći svjetski isporučitelj tehnologije i usluga telekomunikacijskim operatorima. Kao tržišni lider u mobilnim tehnologijama 2G i 3G, Ericsson isporučuje komunikacijske usluge i upravlja mrežama koje poslužuju više od 250 milijuna preplatnika. Lista proizvoda i usluga kompanije sadrži infrastrukturu mobilne i fiksne mreže te širokopojasna i multimedija rješenja za operatore, preduzeća i kompanije koje se bave razvojem. Zajednička kompanija Sony Ericsson isporučuje krajnjim korisnicima personalizirane mobilne uređaje sa velikim mogućnostima.

Ericsson unapređuje svoju viziju "komunikacije za sve" inovacijama, tehnologijom, te održivim poslovnim rješenjima. Prisutan je u 175 zemalja, a više od 70 000 zaposlenika stvorilo je 2008. prihod od 27 milijardi US dolara (209 milijardi SEK). Utemeljen 1876. i sa sjedištem u Stockholmumu, Švedska, Ericsson je uvršten u kotacije na berzi OMX Nordic u Stockholmumu te u sistemu NASDAQ.

Ericsson d.o.o.

Fra Andjela Zvizdovića 1/X
71 000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina
Tel.: +387 33 252 260
Fax: +387 33 209 419
www.ericsson.com/ba

Za više informacija posjetite
www.ericsson.com ili www.ericsson.mobi

ERICSSON 
TAKING YOU FORWARD

UPUTSTVA AUTORIMA

Pored neophodnog kvaliteta i zahtjeva za redovitim izlaženjem, podizanje stručne i tehničke razine časopisa glavna je zadaća svakog izdavača. U skladu sa tim nakanama, te zbog različitosti oblika i formi u kojima su nam do sada pristizali radovi za publikovanje, molimo buduće saradnike i autore priloga da se pridržavaju sljedećih uputstava.

U *Telekomunikacijama* se objavljuju izvorni – još neobjavljeni – naučni i stručni prilozi telekomunikacijskog i informatičkog sadržaja te kraća saopštenja o novostima (stručni susreti, literatura, događaji značajni za struku). Objavljinjem rukopisa autor svoja autorska prava, u skladu sa Zakonom o autorskim pravima, prenosi na izdavača.

1. Konačna verzija priloga šalje se na adresu Uredništva na CD-u ili e-mailom na adresu uredništva, na kojoj je naznačeno ime autora i datoteke. Grafički prilozi trebaju biti u posebnim datotekama. zajedno sa CD-om, autor treba poslati i jedan primjerak ispisa na papiru. U slučaju eventualnih razlika, poštovaće se prilog na CD-u.
2. Rukopis mora biti pisan sa proredom (1,5), slovima veličine 12, sa marginama 2,5 cm i tipom slova *Times New Roman*. O konačnom izgledu priloga odlučuje urednički odbor. Naučni i stručni radovi trebaju biti u obimu od oko 4000 riječi (20000 znakova ili do 12 kartica teksta), a saopštenja ne više od 1000 riječi.
3. Naučni i stručni prilog mora imati **rezime** na jezicima naroda BiH (obima do 1000 znakova) i abstract. Rezime mora sadržavati osnovne postavke (nikako samo zaključak ili zgušnuti sadržaj priloga). Na kraju treba dodati ključne riječi (ne više od njih 10). **Abstract** je engleski prijevod rezimea i mora ga obezbijediti autor.
4. **Ilustracije** moraju biti kvalitetne (fotografije dovoljno kontrastne, a crteži i grafikoni jasno odštampani na papiru). Slike i tabele trebaju biti označene arapskim brojevima identično i u prilogu, i pod ilustracijama (npr. "Sl.: ..." odnosno "Fig.: ..." ili "Tabela 1: ..."). Računarske slike moraju se dati na CD-u kao posebne datoteke sa naznakom u kom su programu rađene. Bitmapirane slike moraju biti u formatu tif ili jpg i imati rezoluciju 300–350 dpi (ako su slike u mjerilu 1:1).
5. **Bibliografija** mora biti na kraju priloga i uređena po abecednom redu (počevši od "a"), a ako isti autor ima više radova, onda i po godinama izdanja (od starijih godišta ka mlađim). Autorima se preporučuje da izbjegavaju bilješke pod crtom (fusnote). Primjeri pisanja bibliografskih jedinica:
 - za **članak jednog autora**:
Karić, A., 1992: Razvoj GIS-a u BiH.– PTT novine, XII, 7, 23–35, Sarajevo
 - za **članak više autora**:
Perić, N. & Bašić, K., 1976: Zamjena koračnih centrala u pošti Sarajevo.– Glasnik inžinjera i tehničara, 12, 44–52, Beograd
 - za **knjigu** (monografiju):
Laković, J., 1998: *Leksikon GSM-a*.– Svjetlost, str. 232, Sarajevo
6. **Citiranje** u tekstu je obavezno, pri čemu je potrebno navesti samo autora i godinu izdanja citiranog djela: (Karić 1992), a ako je potrebno i stranu: (Karić 1992, 24) ili (Karić 1992, 24–26). Ako je citirano više autora odjednom, treba ih navesti zajedno u zagradi: (Karić 1992, 24; Perić & Bašić 1976).
7. Autori priloga moraju imati dozvolu za objavljinje sadržaja koji su zaštićeni sa **"copyright"** i ta dozvola mora biti navedena u prilogu.
8. BH TEL ima **"copyright"** za priloge objavljenе u *Telekomunikacijama*.

U slučaju nejasnoća ili dvojbi urednik i članovi Redakcije će se sa zadovoljstvom osobno posavjetovati sa autorima.

Urednik

AUTHOR'S GUIDELINES

Beside required quality and demands for regular publishing, raising expert and technical level of the magazine is the main task of every publisher. In accordance with these intentions, and because of the diversity of shapes and forms of materials submitted for publishing, we kindly ask future associates and authors of papers to adhere to the following guidelines.

In *Telekomunikacije*, authentic – non-published – scientific and expert papers of telecommunication and information science content, as well as short notifications on the news (expert meetings, literature, events important for the branch) are being published. By publishing the paper, the author transfers its copyright to the publisher, in accordance with the Law on copyrights.

A final version of the paper is being sent to the address of Editorial Board on CD or via e-mail to the address of Editorial Board, with author's name and file name specified on it. Graphics accompanying the text should be on separate files. Beside on a CD, the author should send one copy of the article in paper format. In case of eventual differences, CD version will prevail.

The paper must be written with spacing (1,5), font size 12, margins 2,5 cm and font type *Times New Roman*. The final look of the paper will be decided by Editorial Board. Scientific and expert papers should contain approximately 4000 words. (20000 characters or up to 12 columns of text), and notifications should have no more than 1000 words.

Scientific and expert paper must have an abstract in one of the languages of Bosnia and Herzegovina (up to 1000 characters), and an abstract in English. An abstract should contain main theses (not just a conclusion or condensed content of the paper). At an end of an abstract, keywords should be specified (not more than 10 keywords). **Abstract** is an English translation of the summary and should be provided by the author.

Illustrations must be of a high quality (sufficient contrast on photos; figures and graphs should be clearly printed on the paper). Figures and tables should be marked with Arabic numbers identically in the attachment and under the illustrations. (e.g. "Fig.: ..." or "Table 1: ..."). Computer-designed images must be provided on a CD as separate files with a notification of the program in which it is designed. Bitmap images must be in eps or jpg format with a resolution of 300-350 dpi (if images are in proportion 1:1).

Bibliography must be stated at an end of the paper in alphabetic order (beginning with an "a"), and if the same author has more items, those should be sorted by the years of publishing (from older to newer ones). Authors are recommended to avoid footnotes.

Examples of bibliographies:

- for an article of **one author**:

Karić, A., 1992: Razvoj GIS-a u BiH.- PTT novine, XII, 7, 23-35, Sarajevo

- for an article of **multiple authors**:

Perić, N. & Bašić, K., 1976: Zamjena koračnih centrala u pošti Sarajevo.- Glasnik inžinjera i tehničara, 12, 44-52, Beograd

- for a **knjigu** (monograph):

Laković, J., 1998: *Leksikon GSM-a*.- Svjetlost, str. 232, Sarajevo

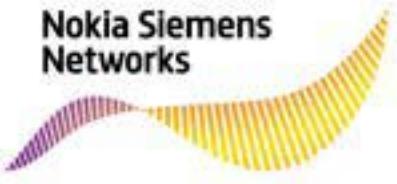
Quoting in the text is obligatory, and it is necessary to state only the author's name and the year of quoted work: (Karić 1992), and also state the page, if necessary: (Karić 1992, 24) or (Karić 1992, 24-26). If more authors are quoted at the same time, they should be specified jointly in brackets: (Karić 1992, 24; Perić & Bašić 1976).

The authors of papers must have permission for publishing the content which is protected with "**copyright**" and the acknowledgement should be stated in the paper.

BH TEL has "**copyright**" for papers published in *Telekomunikacije*.

In case of unclear issues or doubts, the Editor and members of Editorial Board will have pleasure to provide an advice to the authors.

The Editor-In-Chief



New shores to discover.
One million new customers
coming on board every day.

Bringing networks to life.



www.nokiasiemensnetworks.com/villageconnection

Copyright 2007 Nokia Siemens Networks. All rights reserved.



LG KP 500 Cookie



Nokia 6720 classic



Nokia 5800 XpressMusic

Izaberite mobitel
iz naše ponude
- najbolje u BiH!



Nokia 6710 navigator



Sony Ericsson W910



Samsung U900



Nokia N86 8 MP

mini 15**midi 30****maxi 50**

	Cijena mobitela	Iznos rate / 24 mjeseca	Cijena mobitela	Iznos rate / 24 mjeseca	Cijena mobitela	Iznos rate / 24 mjeseca
LG KP 500 Cookie	173,00	7,21	101,00	4,21	5,00	-
Nokia 6720 classic	406,90	16,95	334,90	13,95	238,90	9,95
Nokia 5800 XpressMusic	408,13	17,01	336,13	14,01	240,13	10,01
Nokia 6710 navigator	493,56	20,57	421,56	17,57	325,56	13,57
Sony Ericsson W910	521,16	21,72	449,16	18,72	353,16	14,72
* Samsung U900	-	-	516,00	21,50	420,00	17,50
* Nokia N86 8 MP	-	-	537,87	22,41	441,87	18,41

* modeli označeni zvjezdicom nisu dostupni u paketu mini 15

mega 100**mStudent. 10**

	Cijena mobitela	Iznos rate / 24 mjeseca	Cijena mobitela	Iznos rate / 24 mjeseca
LG KP 500 Cookie	1,00	-	197,00	8,21
Nokia 6720 classic	1,00	-	430,90	17,95
Nokia 5800 XpressMusic	1,00	-	432,13	18,01
Nokia 6710 navigator	85,56	3,57	517,56	21,57
Sony Ericsson W910	113,16	4,72	545,16	22,72
Samsung U900	180,00	7,50	612,00	25,50
Nokia N86 8 MP	201,87	8,41	633,87	26,41

* Cijene su izražene u KM bez PDV-a.

Na letku je prikazan samo dio ponude mobilnih telefona BH Telecom-a za preplatnike BH Mobile mreže, uz potpisivanje ugovora o obaveznom trajanju preplatničkog odnosa na 24 mjeseca.

Sve informacije o ponudi na www.bhtelecom.ba