

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA TELEKOMUNIKÁCIÍ



ING. DANIEL ADAMKO

AUTOREFERÁT DIZERTAČNEJ PRÁCE

**NÁVRH, REALIZÁCIA A OPTIMALIZÁCIA PRENOSU
DÁTOVÝCH TOKOV V PROSTREDÍ ŠIROKOPÁSMOVÝCH
TELEKOMUNIKAČNÝCH SIETÍ**

NA ZÍSKANIE VEDECKO-AKADEMICKÉJ HODNOSTI
PHILOSOPHIAE DOCTOR

V ODBORE DOKTORANDSKÉHO ŠTÚDIA
TELEKOMUNIKÁCIE

BRATISLAVA, NOVEMBER 2013

Dizertačná práca bola vypracovaná v rámci interného doktorandského štúdia na Katedre Telekomunikácií na Fakulte elektrotechniky a informatiky Slovenskej Technickej Univerzity v Bratislave.

Predkladateľ: Ing. Daniel Adamko
Ústav telekomunikácií FEI STU Bratislava
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Školiteľ: doc. Ing. Miloš Orgoň, PhD.
Ústav telekomunikácií FEI STU Bratislava
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Oponenti: prof. Ing. Florián Makáň, PhD.
doc. Ing. Jiří Mišurec, PhD.

Autoreferát bol rozoslaný dňa:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa o hod.
v miestnosti na Fakulte elektrotechniky a informatiky STU
v Bratislave, Ilkovičova 3 pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce
schválenou odborovou komisiou vo vednom odbore: 5.2.15 Telekomunikácie.

.....
doc. RNDr. Gabriel Juhás, PhD.
dekan FEI STU Bratislava
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Obsah:

Úvod	1
1. Charakteristika sietí a služieb v súčasnosti	2
2. Tézy dizertačnej práce	2
3. Bezdrôtové siete	3
3.1. Štandard IEEE 802.11	5
3.2. Kvalita služieb WiFi	6
3.3. Analytické modelovanie EDCA vo WiFi	8
4. Model optimalizovania priepustnosti bezdrôtovej siete	9
4.1. Vplyv kvality signálu na priepustnosť dátových tokov	10
4.2. Model priepustnosti dátových tokov	12
5. Testovanie priepustnosti dát a namerané výsledky	13
6. Namerané výsledky a ich zhodnotenie	13
7. Ďalšie možnosti využitia bezdrôtového prenosu	18
8. Celkové zhodnotenie nameraných výsledkov	20
Prínos pre prax a vednú disciplínu	22
Záver	24
Summary	25
Použitá literatúra	26
Zoznam publikácií autora	29
Účasť autora na výskumných projektoch	30

Úvod

Cieľom práce je návrh optimálnej bezdrôtovej siete, ktorá rieši konvergenciu hlasových a dátových služieb do IP sietí, definovanie QoS mechanizmov, ktoré by zabezpečili kvalitu prenosu pri použití čo najnižších nákladov na zariadenia a prevádzku e-learningových služieb.

V prvej časti práce sú vysvetlené základné pojmy z oblasti VoIP, video a dátovej komunikácie. Zabezpečenie kvality služby QoS v sieti je dôležitou súčasťou prevádzkovania širokopásmových služieb. Riešenia QoS v rámci širokopásmových služieb by mali byť schopné poskytovať kvalitu služby QoS medzi koncovými bodmi v akejkoľvek kombinácii IntServ(Integrované služby) a DiffServ (Diferencované služby) sietí. Podrobným skúmaním sa zistilo, že riešením zabezpečenia kvality služby QoS medzi koncovými bodmi siete pre potreby širokopásmových služieb je vhodná podpora protokolu RSVP pri využití protokolu SIP. V rámci bezdrôtových sietí sa najčastejšie na zabezpečenie kvality služby QoS využívajú mechanizmy WMM.

So zabezpečením kvality služby je správca siete schopný riadiť spotrebu zdrojov v rámci aplikácie, ako aj zabezpečiť prijateľné sieťové služby pre koncových používateľov. Je dôležité si uvedomiť, že akékoľvek riešenia QoS pre prevádzkovanie širokopásmových služieb by mali podporovať všetky prvky siete, vrátane klasifikácie, pravidiel, tvarovania, plánovania a riadenia prístupu, ako aj mechanizmy na podporu rozhodovania riadenia prístupu, ako je napríklad riadenie prevádzky.

Cieľom práce je na základe získaných poznatkov implementovať riešenie prenosu dátových tokov rôzneho typu v rámci bezdrôtových sietí s cieľom ich optimalizácie.

V druhej časti je v dizertačnej práci rozoberaná problematika bezdrôtových sietí a ich vplyv na prevádzku. Podrobne je definovaný štandard 802.11, vplyv rozloženia kanálov a štruktúra rámca 802.11. Následne je rozoberaná problematika komunikácie medzi rámcami, distribučná koordinančná funkcia a bodová koordinančná funkcia. Neodmysliteľnou časťou problematiky je zabezpečenie kvality služieb pri využívaní bezdrôtovej technológie. V rámci práce je podrobnejšie rozobraná problematika rozšírenej distribučnej koordinančnej funkcie – EDCA, v ktorej sa riešia vplyvy, akú sú výkonnosť a priepustnosť údajových tokov. Na túto časť úzko nadväzuje časť, ktorá rozoberá riešenie problematiky QoS mechanizmov v rámci bezdrôtových sietí a následné aplikovanie videoslúžieb. V rámci optimalizácie priepustnosti dátových tokov bol navrhnutý modifikovaný model, ktorý opisuje možnosti ich optimalizovania, na ktoré pôsobia rôzne nepriaznivé vplyvy, ktoré sú rozanalyzované v kapitole s názvom „Model optimalizovania priepustnosti bezdrôtovej sietí“ v rámci dizertačnej práci.

V ďalšej časti dizertačnej práce sú prezentované uskutočnené merania v reálnej prevádzke. Na základe nameraných výsledkov je stanovená miera priepustnosti dátových tokov, stabilita prevádzky a ostatné prvky, ktoré ovplyvňujú prijímanie a spracovanie jednotlivých tokov. V rámci meraní bola sledovaná a vyhodnocovaná predovšetkým prenosová rýchlosť a množstvo pripojených používateľov v rámci prístupového bodu.

V závere dizertačnej práce sú zhrnuté výsledky, ktoré nadobúdajú formu odporúčaní pri riešení problematiky prenosu multimediálneho obsahu, vplyvu dátových tokov na prevádzku, potrebu nasadzovania QoS mechanizmov pre stabilný prenos.

1. Charakteristika sietí a služieb v súčasnosti

V súčasnosti prechádza telekomunikačný priemysel obdobím zmien, ktoré smerujú ku konvergencii služieb a sietí. Dátová prevádzka exponenciálne narastá a dostáva sa do popredia v komunikácii na takmer každom type telekomunikačnej siete. Poskytovatelia hľadajú riešenie, ako najefektívnejšie zjednotiť hlasovú a dátovú prevádzku a služby samotné. Vhodnou technológiou sa pre siete a služby v súčasnej prevádzke javí IP technológia. Umožňuje efektívne prenášať používateľské dáta a zároveň dáva poskytovateľom možnosti rozširovania sietí a zavádzanie nových služieb.

Integrácia hlasových a dátových technológií sa rapídne urýchlila vzhľadom na obojstranné potreby dopytu a ponuky [1]. Na strane dopytu zákazníci rozmýšľajú nad investíciami do sieťovej infraštruktúry, aby získali výhody integrovaných riešení, akými sú napríklad hlasové aplikácie. Na druhej strane výrobcovia sú schopní aplikovať požiadavky dopytu a snažia sa klásť dôraz na kvalitu, výkon, spoluprácu viacerých technológií (vzájomná spolupráca signalizácie v hlasovej komunikácii; kódovanie hlasu a videí s dostatočnou kvalitou pri nízkych nárokoch na prenosové médium a sieťového výkonu - mechanizmy zabezpečujúce kvalitu služby - QoS).

Podstatnou výhodou paketového prenosu hlasu v IP sieti je jeho cena. Oproti klasickej sieti PSTN je to až o 70-80% menej nákladov na vybudovanie siete a jej prevádzku. Tento rozdiel platí nielen pre poskytovateľov, ale aj pre koncových používateľov.

Masové rozširovanie komunikačných služieb znamená prudký rast širokopásmových sietí. Pozornosť teda upútávajú škálovateľnejšie a flexibilnejšie siete. Štandardizačná komisia IETF (Internet Engineering Task Force) preto definovala množiny štandardov signalizačných protokolov - H.323, SCCP, SIP, IAX, SIGTRAN, MEGACO, ktoré poskytujú model pre signalizáciu v IP sieti. Celkovo možno skonštatovať, že výhody IP oproti klasickému TDM prenosu spočívajú predovšetkým v:

- nižších nákladoch,
- vyššej efektívnosti,
- väčšom prenosovom pásme,
- možnosti implementovať nové služby a riešenia.

2. Tézy dizertačnej práce

Cieľom dizertačnej práce je návrh, realizácia a optimalizácia prenosu dátových tokov v prostredí v širokopásmových telekomunikačných sietí. Dizertačná práca je zameraná na bezdrôtové siete používané vo vzdelávacích inštitúciách, v ktorých, podobne ako v pevných sieťach, prechádza v súčasnosti množstvo rôznych typov telekomunikačnej prevádzky. Vzhľadom na to, že technické vybavenie v uvedených vzdelávacích inštitúciách nie je úplne moderné, využíva sa na bezdrôtový prenos štandard 802.11g a na bezpečnosť prenosu sa prihliada len v obmedzenej miere, preto v rámci dizertačnej práce je riešená problematika bezpečnosti a prenosu dátových tokov a ich optimalizácia. Dôležitým parametrom v prípade používania bezdrôtových sietí je skutočná priepustnosť dát, ktorá je závislá od nastavení používaných zariadení a od ďalších faktorov, ktoré môžu na prenos vplyvať. Medzi skúmané faktory, ktoré ovplyvňujú priepustnosť, patrí napríklad počet používateľov, vzdialenosť jednotlivých užívateľských zariadení, ale aj viaccestnosť, typ

používaných WiFi zariadení, rovnako aj oneskorenie na bezdrôtových častiach pevnej siete LAN.

V rámci dizertačnej práce bude podrobnejšie rozobraná problematika rozšírenej distribučnej koordinačnej funkcie – EDCA, v ktorej je potrebné riešiť problémy, akými sú dostatočná výkonnosť a priepustnosť dátových tokov. Preto jedným z cieľov bude aj prostredníctvom matematického aparátu optimalizovať obsadenosť kanálov, výkon a priepustnosť bezdrôtovej siete.

Na riešenie spomínanej problematiky bude navrhnutý aj modifikovaný matematický model, ktorý by mal riešiť optimalizáciu prenosu dátových tokov a zároveň aj kvalitu služieb v prostredí bezdrôtových sietí, a taktiež by mal stanoviť možnosti prenosu rôznych typov dátových tokov s cieľom poukázať na možnosti dosiahnutia vyššej priepustnosti dátových tokov so zameraním sa na dĺžku paketov a rýchlosť prenosu dát s rôznymi stavmi kanálov. Uvedený matematický model by mal umožniť posúdenie vplyvu intenzity signálov na prenos dátových tokov v kanáli. Neoddeliteľnou súčasťou bude testovanie priepustnosti dátových tokov pri určenom počte klientov s rôznymi typmi signálov. Pri testovaní bude kladený dôraz na prioritizáciu jednotlivých typov dátových tokov prostredníctvom WMM. Výsledky merania budú použité pri riešení priepustnosti dátových tokov v konkrétnej bezdrôtovej sieti, kde na základe nameraných hodnôt sa stanovujú možnosti ich aplikovania pre ďalšie využitie v praxi.

Riešenie dizertačnej práce sa bude odvíjať z nasledovných téz:

1. Navrhnete zabezpečenie optimalizácie výučbových modulov v prostredí bezdrôtových WiFi sietí a širokopásmových telekomunikačných sietí.
2. Optimalizujete rozšírenú distribučnú koordinačnú funkciu z hľadiska prenosu dátových tokov v bezdrôtových sieťach.
3. Prostredníctvom modifikácie matematického modelu stanovíte možnosti riešenia problematiky kapacity kanála v prostredí bezdrôtových WiFi sietí.

3. Bezdrôtové siete

V ostatných rokoch došlo k veľkému posunu pri budovaní prístupových bodov WiFi [2, 3, 5, 7, 17, 23, 24, 25, 26, 31, 39, 42, 67]. WiFi je označenie rodinu protokolov bezdrôtových sietí v rámci IEEE 802.11 opisujúcich bezdrôtovú komunikáciu v počítačových sieťach (tiež Wireless LAN, WLAN). Pôvodným cieľom WiFi sietí bolo zabezpečovať vzájomné bezdrôtové prepojenie prenosných zariadení a ďalej ich pripájanie na lokálne (napr. firemné) siete LAN. S postupom času začala byť využívaná aj na bezdrôtové pripojenie do siete Internet v rámci rozsiahlejších lokalít a tzv. hotspotov. WiFi zariadenia sú dnes prakticky vo všetkých prenosných počítačoch a aj v množstve mobilných telefónov. Úspech Wi-Fi prinieslo najmä využívanie bezlicenčného pásma, čo však má negatívne dôsledky vo forme silného zahltenia príslušného frekvenčného spektra a v častých bezpečnostných incidentoch. Jednou z alternatívnych následníkom WiFi môže byť bezdrôtová technológia WiMAX, ktorá sa zameriava na zlepšenie prenosu signálu na väčšie vzdialenosti.

WiFi zaisťuje komunikáciu na linkovej vrstve, zvyšok je záležitosť protokolov vyšších vrstiev (na rozdiel od technológie Bluetooth, ktorá sama o sebe zabezpečuje najrôznejšie služby). Typicky sa preto prenášajú zapuzdrené ethernetové rámce. Na komunikáciu na zdieľanom médiu (v tomto prípade vzduch) je používaný protokol CSMA/CA (Ethernet používa CSMA/CD).

Štruktúra bezdrôtovej siete

Bezdrôtová sieť [2, 5, 10] môže byť vybudovaná rôznymi spôsobmi v závislosti na požadovanej funkcii. Vo všetkých prípadoch zohráva kľúčovú úlohu identifikátor SSID (Service Set Identifier), čo je reťazec až 32 ASCII znakov, ktorými sa jednotlivé siete rozlišujú. SSID identifikátor je v pravidelných intervaloch vysielaný ako broadcast, takže všetci potenciálni klienti si môžu ľahko zobraziť dostupné bezdrôtové siete, ku ktorým je možné sa pripojiť (t.j. „asociovať“ sa s prístupovým bodom).

Najjednoduchším spôsobom, ako bezdrôtovú sieť skryť, je zamedziť vysielanie SSID. Pripájajúci sa klient potom musí SSID vopred poznať, inak sa nedokáže k druhej strane pripojiť. Pretože je však SSID pri pripájaní klienta prenášané v čitateľnej podobe, možno ho ľahko zachytiť a skrytú sieť odhaliť.

Ad-hoc siete

V ad-hoc sieti [2, 3, 42, 67] sa navzájom spájajú dvaja klienti, ktorí sú v ekvivalentnej pozícii (bod - bod). Vzájomná identifikácia prebieha pomocou SSID. Obe strany musia byť v priamom rádiovom dosahu, čo je typické pre malú sieť alebo príležitostné spojenie, kedy sú počítače vo vzdialenosti niekoľkých metrov.

Infraštruktúrne siete

Typická infraštruktúrna bezdrôtová sieť obsahuje jeden alebo viac prístupových bodov (AP - Access Point) [33, 41, 43, 46], ktoré vysielajú svoje SSID. Klient si podľa názvu sietí vyberie, ku ktorej sa pripojí. Niekoľko prístupových bodov môže mať rovnaký SSID identifikátor, potom je plne záležitosťou klienta, ku ktorému prístupovému bodu sa pripojí. Takéto riešenie umožňuje prepojovanie v závislosti na sile signálu a dáva tak klientovi možnosť voľného pohybu vo väčšej sieti.

Bezpečnosť siete

Veľkým problémom bezdrôtových sietí [24, 26] je neodborná konfigurácia bezpečnostných prvkov. Dôvodom je šírenie signálu mimo zabezpečený priestor, čo si mnoho používateľov neuvedomuje. Neoprávnený používateľ sa veľmi ľahko dokáže pripojiť do nezabezpečenej bezdrôtovej siete. Preto sa v súčasnej dobe kladie veľký dôraz na bezpečnosť bezdrôtových sietí. Nevyhnutnou podmienkou je vlastníctvo kvalitného zariadenia, ktoré pracuje s novými technologickými vymoženosťami. V opačnom prípade je potrebné zabezpečiť sieť na vyššej sieťovej vrstve. Jednou z možností je realizácia virtuálnej privátnej siete - VPN (virtuálna privátna sieť).

Blokovanie vysielania SSID

Blokovanie vysielania prostredníctvom SSID [2, 5, 24, 26] patrí medzi najjednoduchšie mechanizmy zabezpečenia bezdrôtovej siete, pričom ale dochádza k porušovaniu štandardu. Princíp zabezpečenia spočíva v zamedzení umiestnenia bezdrôtovej siete do zoznamu dostupných sietí. Jednou z používaných metód je tzv. provokácia, ktorá spočíva vo vysielaní rámcov, ktoré používateľov prinúti sa znovu pripojiť do bezdrôtovej siete.

Kontrola MAC adries

Ďalšou možnosťou, ktorá slúži na zabránenie prístupu neidentifikovateľného zariadenia do bezdrôtovej siete, je kontrola MAC adries [24, 26]. Princíp spočíva

v tom, že bezdrôtové zariadenie má k dispozícii zoznam MAC adries klientov, ktorým je umožnené pripojiť sa do bezdrôtovej siete. Pri pripájaní sa overuje, či MAC adresa zariadenia, ktoré sa chce pripojiť, je uvedená v zozname MAC adries klientov. Nevýhodou kontroly MAC adries je, že nežiaduca osoba dokáže odchytiť MAC adresu používateľa, ktorý sa pripája do bezdrôtovej siete, a následne sa prostredníctvom jeho identity môže pripojiť do bezdrôtovej siete.

Šifrovací systém WPA2

Šifrovací systém WPA2 [37, 40] využíva novší systém šifrovania, využíva AES šifru, ktoré vyžaduje kvalitnejšie hardvérové zariadenia.

Bezdrôtové siete pri porovnávaní s ostatnými sieťami, sa prejavujú zvýšenou chybovosťou. Kvalita signálu a prenosu v bezdrôtových sieťach závisí na prostredí, v ktorom prebieha prenos, vo frekvenčnom pásme 2,4 GHz a 5 GHz. Oproti drôtovej technológii, bezdrôtová technológia vyžaduje obrovské nároky na kapacitu prenosového pásma pre videokonferencie.

3.1. Štandard IEEE 802.11

IEEE 802.11 [19, 22, 23, 25, 26, 32, 35, 37, 38, 40, 42, 53, 54, 60] je súbor noriem určených na implementáciu bezdrôtových lokálnych sietí (WLAN), ktoré sú schopné komunikovať v pásme 2,4 a 5 GHz. Tieto typy sietí sú vytvárané na základe existujúcich noriem pre IEEE LAN/MAN štandardu IEEE 802, ktorý bol novelizovaný v roku 2007. Tieto normy sú základom pre bezdrôtové sieťové produkty, ktoré používajú tzv. WiFi označenia.

Protokol 802.11 sa skladá z radu modulačných techník určených pre mobilné siete, ktoré používajú rovnaký základný protokol. Najpoužívanejšie z pomedzi všetkých sú štandardy 802.11b a 802.11g. Štandard 802.11n je patrí v súčasnej dobe medzi najpoužívanejšie, ktorý využíva modulačnú techniku OFDM. Ďalšie normy v rodine protokolov 802.11(c-f, h, j) predstavujú servisné zmeny, rozšírenia a opravy v predchádzajúcich špecifikáciách. 802.11b a 802.11g využíva 2,4 GHz pásmo. Nevýhodou pri tomto frekvenčnom pásme je vplyv rušenia prenosu.

Štandard 802.11

Pôvodný štandard IEEE 802.11 bol uvedený do prevádzky v roku 1997 a spresnený v roku 1999, ktorý je ale v súčasnej dobe už zastaralý. Spresnil tri alternatívne technológie pracujúce na fyzickej vrstve: rozptýlené infračervené spektrum, FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) a DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum). FHSS a DSSS pracovali na horeuvedených prenosových rýchlostiach, ktoré využívali na svoje šírenie mikrovlnný prenos na frekvencii 2,4 GHz. Dedičstvo 802.11 s priamymi sekvenciami rozprestretého spektra bol rýchlo nahradený štandardom 802.11b.

Štandard 802.11a

Spomínaný štandard pracuje v nelicencovanom pásme 5 GHz, kde sa na prenos dát využívajú prenosové rýchlosti, uvedené v tab. 3. Na prenos v rámci paketovej komunikácie sa využíva OFDM modulácia. Výhodou tohto štandardu je práca vo frekvenčnom pásme 5 GHz, nakoľko dovoľuje použiť viacero kanálov bez toho, aby došlo k vzájomnému rušeniu.

Štandard 802.11b

Uvedený štandard je nástupcom základného štandardu 802.11, ktorý využíva prístupovú metódu k médiu CSMA/CA umožňujúcu prenosovú rýchlosť teoreticky až 11 Mbit/s. Prostredníctvom tejto metódy je však prakticky možné prenášať dáta rýchlosťou 5,9 Mbit/s (TCP) a 7,1 Mbit/s (UDP). Nevýhodou tohto štandardu je prenos údajov bez zabezpečenia kvality služby QoS. Z hľadiska bezpečnosti komunikácie sa vyžívajú šifrovacie metódy WEP, resp. WEP2.

Štandard 802.11g

Štandard 802.11g, bol vydaný v roku 2003, a je určený pre prevádzku vo frekvenčnom pásme 2,4 GHz. Maximálna udávaná prenosová rýchlosť je 54 Mbit/s, pričom dosiahnuteľná priemerná rýchlosť je približne 20 Mbit/s. Z hľadiska modulácie je využívaná rovnaká modulácia – OFDM – ako pri štandarde 802.11a. Horeuvedený štandard je najviac rozšírený v rôznych zariadeniach. Väčšina výrobcov vo svojich zariadeniach využíva dual-band/tri-mod (podpora a, b, g v jednom adaptéri sieťovej karty alebo prístupového bodu).

Štandard 802.11n

Štandard 802.11n vychádza z dovtedy známych štandardov. Štandard je rozšírený o viaccestné šírenie MIMO (viac vstupov, viac výstupov) za účelom zvýšenia priepustnosti siete a dosahu signálu. Pracovná frekvencia je 2,4 GHz, menej je využívaný v pásme 5 GHz. Princíp spočíva vo vysielaní niekoľkých dátových tokov viacerými prenosovými cestami v rámci jedného kanála. Zvyšovaním počtu prístupových antén sa zvyšuje prenosová rýchlosť a zároveň môže komunikovať viac používateľov. Pri tomto štandarde je dodržaná kompatibilita s predošlými dielčimi štandardmi. Maximálna prenosová rýchlosť pri spomínanom štandarde je až 150 Mbit/s.

3.2. Kvalita služieb WiFi

Protokolový štandard 802.11 bol rozšírený o stať pod označením „e“, kde sú popísané a rozšírené mechanizmy prístupu (DCF, PCF) [23] o HCF - hybridná koordinačná funkcia. Takisto aj pri tomto pri pôvodnom štandarde, HCF pozná dve metódy prístupu k médiu:

- HCCA - rozšírenie HCF [26],
- EDCA - rozšírenie DFC [26].

Spomínané metódy sú charakterizované prioritou prenosu – napr. e-mailová správa má nižšiu prioritu a napríklad audiovizuálny prenos má pridelenú vyššiu prioritu prenosu.

EDCA – dátový tok s vyššou prioritou prevádzky, má vyššiu šancu, že bude vyslaný skôr, ako dáta s nižšou prioritou prevádzky. V konečnom dôsledku možno konštatovať, že dáta s vyššou prioritou čakajú o niečo menej, ako dáta s nižšou prioritou prevádzky. Spomínaný stav je dosiahnuteľný vyvážením rámca AIF pre vyššiu prioritu paketov. Presné hodnoty sú závislé na nastavení fyzickej vrstvy, ktorá je určená na prenos dát. Okrem tohto riešenia existuje v rámci EDCA pridelovanie stupňa priority - TXOP (Transmit Opportunity). TXOP je časový interval, ktorý definuje, koľko rámcov je schopná stanica vyslať za daný časový interval. V prípade veľkého rámca dochádza k jeho rozdeleniu na dielčie časti a následne k postupnému vysielaniu.

Úrovně priority v EDCA sa nazývajú prístupové kategórie (ACS). CW_{min} (minimálna doba prístupu) a CW_{max} (maximálna doba prístupu) predstavujú hodnoty, ktoré sú vypočítané z aCW_{min} a aCW_{max} , resp. ktoré sú definované pre každú fyzickú vrstvu podporovanú štandardom 802.11e.

Tab 1 Výpočet hraníc okien

Názov	CW_{min}	CW_{max}
Prenos na pozadí (AC_BK)	aCW_{min}	aCW_{max}
Best-Effort (AC_BE)	aCW_{min}	aCW_{max}
Video (AC_VI)	$(aCW_{min}+1)/2-1$	aCW_{min}
Hlas (AC_VO)	$(aCW_{min}+1)/4-1$	$(aCW_{min}+1)/2-1$

Minimálna hodnota aCW_{min} má hodnotu 15 a maximálna aCW_{max} má hodnotu 1023.

Tab 2 Východiskové EDCA parametre pre každú AC

Názov	CW_{min}	CW_{max}	AIFSN	Max TXOP
Prenos na pozadí (AC_BK)	15	1023	7	0
Best-Effort (AC_BE)	15	1023	3	0
Video (AC_VI)	7	15	2	3.008ms
Hlas (AC_VO)	3	7	2	1.504ms
Dedičstvo DCF	15	1023	2	0

Tab 3 Klasifikácia QoS podľa priority

-	[802.1d]	[802.1d]	[802.11e]	[802.11e]
Priorita	Prioritná úroveň	Označenie	Prístupová kategória (AC)	Označenie
Najnižšia	1	BG	AC_BG	Prenos na pozadí
	2	BG	AC_BG	Prenos na pozadí
	0	BG	AC_BG	Best-Effort
	3	BE	AC_BE	Best-Effort
	4	VI	AC_VI	Video
	5	VI	AC_VI	Video
	6	VO	AC_VO	Hlas
Najvyššia	7	VO	AC_VO	Hlas

HCCA [23, 44] – princíp funkčnosti je podobný ako pri PCF. Rozdiel spočíva v tom, že nedochádza k rozdeľovaniu intervalu medzi dvoma rámcami, ktoré sú typu Beacon (CFP a CP) a následne umožňuje prístupovať k médiu počas celej doby vysielania. CAP je fáza kontrolovaného prístupu, vyvoláva sa prístupovým bodom za podmienky, že prenosové médium je voľné. V rámci tejto fázy je prístupový bod braný ako hybridný koordinátor (HC – Hybrid Coordinator), ktorého úlohou je kontrola prístupu k médiu. Z hľadiska mechanizmov je medzi jednotlivými metódami prístupu definícia triedy prístupu TC (Traffic Class) a streamami. Na základe tejto skutočnosti je možné konštatovať, že HC nemá obmedzenie na striedanie komunikácie medzi koncovými zariadeniami, naopak rozlišuje relácie, ktoré sú potom uprednostňované a zároveň koordinované rôznymi spôsobmi. Neoddeliteľnou úlohou koncového zariadenia je podávanie informácie o dĺžkach jednotlivých čakacích radov prenosu. Získané informácie sú použité na prioritizáciu koncového zariadenia pred iným zariadením, alebo pri plánovacom mechanizme. K ďalšiemu rozdielu dochádza pri prideliť TXOP, kde hybridný koordinátor zvolí časový interval a ten je následne pridelený koncovému zariadeniu, ktoré môže vysielat' viac rámcov za sebou.

Z hľadiska mechanizmov prístupu je možné konštatovať, že HCCA sa považuje za najlepšiu koordinačnú funkciu, ktorá dokáže veľmi presne a účinne definovať požadovanú kvalitu služby, pričom štandard 802.11e okrem iného definuje aj ďalšie rozšírenia, ktoré slúžia na zabezpečovanie kvality služby v sieti WiFi:

- obmedzenie potvrdení,

- blokovanie potvrdení.

3.3. Analytické modelovanie EDCA vo WiFi

Viacnásobný prístup [21, 22, 28, 35, 44, 50, 60] so snímaním nosnej s detekciou kolízie (metóda prístupu LAN špecifikovaná v IEEE 802.3) spočíva v tom, že zariadenia monitorujú zbernicu, až kým nedetekujú nulový signál (snímanie nosnej frekvencie), potom vysielajú a kontrolujú, či nie je prítomný ešte nejaký signál (detekovanie kolízie); ak je detekovaný signál, každé zariadenie sa uvoľní a čaká krátko pred pokusom o opätovné vysielanie. Metóda prístupu CSMA a jej modifikácie je dlhodobo využívaná, jej štandardizácia v rámci IEEE 802.11 bola uskutočnená v roku 1990. V posledných rokoch sa výskum zameriaval na DCF (Distributed Coordination Function) prostredníctvom MAC funkcií. Cieľom bolo vyhnúť sa kolíziám prostredníctvom CSMA/CA a využiť pritom binárnu schému s BEB algoritmom (Binary Exponential Backoff). Pri riešení problematiky boli navrhnuté nezávisle tri modely, pri ktorých sa analyzovala priepustnosť a kapacita, za predpokladu konštantnej pravdepodobnosti kolízie pre každú stanicu. Na základe získaných poznatkov bol navrhnutý Markovov model, prostredníctvom ktorého je možné modelovať správanie sa typov CSMA/CA/BEB DCF. Cieľom bolo nájsť rovnomernú pravdepodobnosť prenosu paketov prostredníctvom riešenia Markovovho modelu a nakoniec získať hodnotu priepustnosti použitím regeneračnej analýzy všeobecného časového slotu. Ďalšou časťou bola analýza faktoru p odvodeného od informačného okna (CW) v DCF a následne zistenie kapacity kanála pomocou teórie obnovy signálu.

Navrhnutý model bol neskôr modifikovaný. Namiesto priemernej hodnoty sa navrhol matematický model, ktorého úlohou bol výpočet pravdepodobnosti kolízie paketov. Pri neustálom rozširovaní bezdrôtového pripojenia bolo potrebné využiť nové možnosti v rámci IEEE 802.11 skupiny e – podpora QoS v rámci WLAN využitím 802.11 MAC. Metóda EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) je jednou z hlavných a povinných prístupových metód v rámci 802.11e, ktorá parametrizuje DCF CSMA/CA schémou s prioritným exponenciálnym odstupom (EB) tak, aby sa dosiahlo najlepšie diferencovanie QoS.

V posledných rokoch bola výkonnosť EDCA preskúmaná nielen pomocou simulácie, ale aj analytickým hodnotením. Väčšina EDCA analytických štúdií vychádza z modifikácie analýzy DCF. Rozširuje a parametrizuje sa hodnota p , pričom DCF sa implementuje do rôznych tried.

Ostatné časti sú modifikované prostredníctvom Bianchiho – Markovovho modelu a to diferencovaním Arbitration Inter Frame Space (AIFS) a (alebo) CW.

Rozborom účinkov diferenciácie u CW je možné tvrdiť, že dochádza k rôznym prechodom pre aplikovanie dvojrozmerného Markovovho modelu ako aj u trojrozmerného Markovovho modelu. Pri tomto rozbere dochádza k viacerým možným alternatívam modifikácie EDCA parametrov za podmienky zachovania komplexnosti pre dosiahnutie lepšej kontroly povolení, plánovaní pri využívaní kvality signálu v sieťovej schéme MAC. Na základe zistených skutočností vzhľadom na priepustnosť toku, kapacity a pravdepodobnosti rozloženia bol navrhnutý model, ktorý má viesť k zjednodušeniu Markovových modelov.

Predpoklady a konfigurácia modelu:

Podľa posledného návrhu štandardu 802.11e sú definované predpoklady o EDCA náhodnom prístupe, pri ktorom budú analyzované nasledovné časti:

- konečný počet staníc v single-hop sieti,
- každá stanica má jednu prístupovú entitu, ktorá patrí do jednej zo štyroch AC (Access Categories) a počet staníc nasadených v AC je $N[AC]$,
- ideálne podmienky kanálu (pokiaľ je pri šírení signálu oneskorenie 0, neexistuje žiaden chybný uzol),
- synchronizácia a slot systém,
- nasýtenie prevádzky - všetky stanice majú vždy rovnaké podmienky pre znovuprihlásenie do fronty,
- vysielací čas T_s : $T_s = \text{Velkost_paketu} / v / T_{\text{slot}}$,
- pričom $T_s = (PHY \& MAC \text{hlavicka} + RTS + CTS + ACK + 3 * SIFS) / T_{\text{slot}} + T$
- čas kolízie – $T_c = RTS / T_{\text{slots}}$,
- $TXOP_{\text{limit}}[AC] = 0$ pre všetky ACs. Predpokladáme, že iba jeden dátový rámec je prenášaný v EDCA TXOP.
- nekonečný opakovací čas pre rámec po nastaní kolízie

4. Model optimalizovania priepustnosti bezdrôtovej siete

Rovnako ako káblové siete LAN, ktoré využívajú na prenos signálu metalické alebo optické káble ako prenosové médium, sieť WLAN môže využívať na prenos signálu infračervené (IR) svetlo alebo rádiový frekvenčný signál (RF). Z týchto typov médií, RF je ďaleko viac populárny pre jeho väčší rozsah, vyššiu priepustnosť a väčšie pokrytie. Väčšina sietí WLAN využíva frekvenčné pásmo 2,4 GHz.

RF spektrum 2,4 GHz je nelicencované na celom svete - na prevádzku nie je potrebné mať povolenie telekomunikačného úradu. Bezdrôtové siete možno použiť ako vo vnútri budovy, medzi budovami a môže byť použité aj ako náhrada alebo rozšírenie existujúcej káblovej siete. Rovnako ako pri káblovej pevnej sieti LAN, je skutočná priepustnosť dát aj v sieti WLAN závislá na nastavení zariadenia. Medzi faktory, ktoré ovplyvňujú priepustnosť, patrí počet používateľov, vzdialenosť a viaccestnosť, typ WiFi zariadenia, rovnako aj oneskorenie na bezdrôtových častiach pevnej siete LAN.

Priepustnosť je definovaná ako pomer očakávaných údajov k očakávanej dobe trvania, udáva sa v percentách a zahŕňa neskreslené prijaté pakety bez chybovosti. Navyše väčšina hlasových aplikácií a videoaplikácií dáva prednosť pred veľmi malým užitočným zaťažením a zároveň zaisťuje spoľahlivé a minimálne oneskorenie poskytovania služieb.

Strata vysielacieho času počas kolízie medzi prístupovým bodom (AP) a stanicou (STAs), pri ktorom sa stanice snažia súčasne prenášať, môže mať za následok:

- čas, ktorý slúži ako prestoj,
- vysielaciu dobu pre signálne rámce,

hlavičku protokolu, ktorá môže obsahovať informácie o synchronizácii, adresu, potvrdenie a kontrolu).

Problematika priepustnosti WiFi

Priepustnosť siete [9, 11, 14, 18, 19, 20, 27, 28, 30, 45, 46, 48, 49, 50, 51] je ovplyvnená niekoľkými faktormi. Existuje percento neskreslených paketov, ktoré

používateľ zaregistruje v rámci prenosu. Výsledný dopad na účinnosť priepustnosti siete závisí od jeho vyťaženia. Problémy priepustnosti siete vo WLAN sú:

- znižovanie nominálnej prenosovej rýchlosti vzhľadom na vzdialenosť - pri zväčšovaní vzdialenosti dochádza k zoslabovaniu a skresľovaniu rádiového signálu. Vplyvom znižovania kvality signálu dochádza aj k zníženiu prenosovej rýchlosti.
- viac pripojených používateľov - priepustnosť siete klesá, ak viac súčasne aktívnych používateľov prenáša dáta prostredníctvom WLAN; dôvodom poklesu je fakt, že používatelia pri vyhýbaní sa kolíziám musia odložiť vysielanie (Backoff) ešte pred jeho začatím. Výsledkom je stratený čas vysielania, ktorý má vplyv na priepustnosť.
- interferencia a koexistencia - k problému, ktorý vzniká pri frekvenčnom rozsahu, na ktorom vysiela WLAN, môže dochádzať k vzájomnému ovplyvňovaniu a rušeniu signálu. Ako už bolo spomenuté, WLAN vysiela na nelicencovanom pásme. Napriek tomu dochádza k výraznému zvyšovaniu popularity. Na minimalizovanie rušenia je nutné využívať v rámci WLAN rôzne kanály. Z tohto pohľadu to môžeme nazvať ako *frekvenčná optimalizácia signálu*.
- interoperabilita bezdrôtových zariadení - bezdrôtové siete LAN od rôznych výrobcov nemusia byť vždy kompatibilné kvôli nasledujúcim dôvodom:
 - rozličnosť implementovania technológií – systém založený na technológii Frequency Hopping nebude schopný komunikovať so zariadením pracujúcim na princípe priameho šírenia frekvenčného spektra,
 - rôzne frekvenčné pásma,
 - nekompatibilita – zariadenia nespolupracujú, aj keď využívajú rovnaké technológie.

4.1. Vplyv kvality signálu na priepustnosť dátových tokov

Indikátor pripojenia [16, 18, 19, 20, 21, 28, 29, 30, 34, 45, 48] je prostriedok, ktorý slúži na určovanie kvality pripojenia prostredníctvom pracovných staníc alebo mobilných zariadení. Pri navrhovaní bezdrôtovej siete je nutné vytvoriť špecifikáciu návrhu a stanovenie výkonu bezdrôtovej siete. Pri návrhu bezdrôtovej siete sa treba zaoberať aj dôležitým faktorom, akým je prostredie:

- vonkajšie prostredie (voľné priestranstvo),
- vnútorné prostredie (materiál budovy, domu, zábrany, vnútorné vybavenie miestnosti, ktoré tlmia intenzitu signálu)

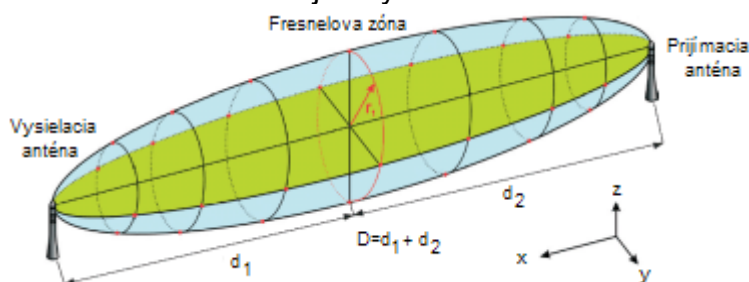
Neoddeliteľnou súčasťou vplyvu výkonu, a ním spojenej kvality signálu je priepustnosť siete. Priepustnosť je definovaná ako pomer rýchlosti prenosu dát ku vzdialenosti prístupového bodu. Pri návrhu rozsiahlejšej bezdrôtovej siete je potrebné umiestniť viac prístupových bodov, nakoľko jeden prístupový bod nedokáže pokryť celú oblasť. Zároveň priepustnosť je závislá od vzdialenosti prístupového bodu. Kvalita signálu závisí od nasledovných parametrov:

- veľkosť šumu [dB],
- veľkosť amplitúdy signálu [dB],
- intenzita signálu,
- šifrovanie,
- počet zahodených paketov.

Zisťovaním kvality spojenia získavame informácie o miestach, ako je dostatočne prostredie pokryté signálom v jednotlivých prístupových bodoch. Vzhľadom na to, že signál je väčšinou distribuovaný v prostredí budovy, nie je potrebné riešiť problematiku Fresnelovej zóny, pri ktorej je nutné dodržanie podmienky priamej viditeľnosti medzi vysielačom a prijímačom anténou. Ak je tomu predsa tak, je potrebné uvažovať Fresnelovu zónu, ktorá má tvar rotačného elipsoidu s polomerom Fresnelovej zóny a pre výpočet tohto polomeru platí, že:

$$r_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{D}} \quad (1),$$

kde r_1 je polomer prvej Fresnelovej zóny v určitej vzdialenosti, λ je vlnová dĺžka (pri frekvencii 2,4 GHz je to 12,5 cm), D je vzdialenosť medzi vysielačom a prijímačom anténou, d_1 a d_2 je vzdialenosť prekážky od prijímača respektíve vysielača. Na obr. 1 je uvedená charakteristika Fresnelovej zóny.



Obr. 1 - Model Fresnelovej zóny

Narušením podmienky priamej viditeľnosti dochádza k rastu rušivých odrazov, čo má za následok zníženie kvality signálu prenášaného dátového toku (stratovosť paketov, väčšie oneskorenie). Platí podmienka, že pokiaľ nie je voľných aspoň 60% priemeru zóny, dochádza k výraznej degradácii kvality spoja. Príčinou sú vzniknuté odrazy, čo má za následok významné zarušenie prostredia. Jednoznačný obraz o kvalite spojenia nám dáva sila signálu a šumu. Veľký dôraz je potrebné klásť na elimináciu zahadzovania paketov.

Vplyv materiálu na kvalitu signálu

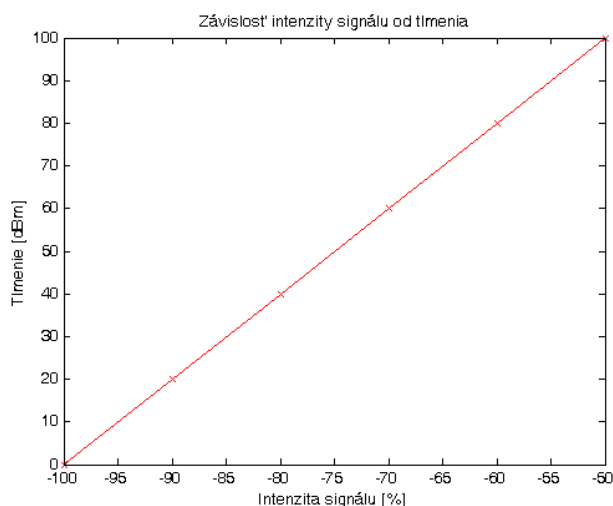
Reflexia alebo difrakcia vedie k viaccestnému šíreniu signálu. Viaccestné šírenie je v uzavretom prostredí bežné. Rádiový signál sa odráža od objektov počas prenosu (napr. steny, stropu, kancelárskej priečky a pod.). Účinok viaccestného šírenia spôsobuje tlmenie signálu, takže prijímač nie je schopný získať dostatočnú silu signálu. Navyše, odrazené signály dorazia do prijímacej stanice neskôr, ako priamy signál. Čas, ktorý slúži na identifikáciu duplicitných signálov, sa nazýva čas oneskorenia šírenia signálu.

Tlmenie

Pri bezdrôtovom prenose dát medzi dvoma uzlami má amplitúda signálu klesajúcu tendenciu. Tento jav sa nazýva tlmenie. Medzi faktory, ktoré spôsobujú tlmenie je napríklad vzdialenosť, viaccestné šírenie a pod. Pri dostatočnom tlmení sa dostaneme do stavu, že zariadenie nebude mať dostatočnú amplitúdu signálu, navyše výkon sa výrazne zníži. V tabuľke 6 sú uvedené stavebné materiály a ich príslušné tlmenie.

Tab 4 Vplyv materiálu na tlmenie signálu

Názov stavebného materiálu	Tlmenie [dB]
Sadrokartón	3 – 5
Sklenená stena s kovovým rámom	6
Roh steny	4 – 6
Okno	3
Kovové dvere	6 – 10
Tehlová stena	5 – 8
Betónová stena	6 – 15



Obr. 2 - Závislosť intenzity signálu od tlmenia

Na základe testovania v prevádzke je možné tvrdiť a zadefinovať si koeficient intenzity signálu:

$$k = \frac{I}{100} \quad (2),$$

kde I je intenzita signálu.

4.2. Model priepustnosti dátových tokov

V predchádzajúcich častiach bola priepustnosť definovaná ako hodnota užitočného zaťaženia bitov za sekundu, ktoré boli prijaté správne. Na jej výpočet na začiatku uvažujme, že existuje užitočná informácia v AWGN kanáli (Additive White Gaussian Noise) a zároveň je stanovené, že odpoveď z prijímača je bezchybná. Priepustnosť na fyzickej vrstve je možné popísať vzťahom:

$$T(i) = \frac{D}{D + H_i} p_b R_i U_i^s(\gamma_s, p_b, D) \quad (3),$$

kde

- D je dĺžka užitočnej informácie,
- H_i je hlavička a DCF réžia zodpovedajúca rýchlosti „i“ udávaná v bitoch,
- R_i je prenosová rýchlosť priepustnosti na fyzickej vrstve,
- p_b je počet bitov na symbol MQAM,
- U_i^s je úspešnosť paketu definovaného ako pravdepodobnosť korektného prijatia paketu k zodpovedajúcej priepustnosti na fyzickej vrstve,
- k je koeficient intenzity signálu

γ_s je definované ako odstup signál/šum na symbol a je daný vzťahom:

$$\gamma_s = \frac{\varepsilon_s}{N_0} = \frac{E}{N_0 R_s} \quad (4),$$

kde N_0 a E predstavuje energiu za symbol, šum spektrálneho zaťaženia, respektíve prijatého výkonu.

Pri riešení problematiky priepustnosti dát berieme do úvahy fading, resp. slabnutie kanálov, kde doba ústupu (fade) je dlhšia, ako perióda paketu. Vzhľadom na Rayleighho kanál, priemernú pravdepodobnosť chybovosti symbolu P_e je potom možné vyjadriť nasledovne:

$$\overline{P_e}(b, \overline{\gamma_s}) = 2(1 - 2^{-\frac{p_b}{2}}) 1 - \left(\frac{3\overline{\gamma_s}}{2(2^{p_b} - 1) + 3\overline{\gamma_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5).$$

Premenou rovnice (3) z rovnice (5) vytvoríme nasledovný vzťah:

$$T_{(i)} = \frac{D-C}{D} p_b R_s \left[2(1 - 2^{-\frac{b}{2}}) \left(\frac{3\overline{\gamma_s}}{2(2^b - 1) + 3\overline{\gamma_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (6).$$

Prenosovú rýchlosť môžeme vypočítať podľa vzťahu:

$$R_p = k \cdot \frac{R_t}{2} \quad (7).$$

5. Testovanie priepustnosti dát a namerané výsledky

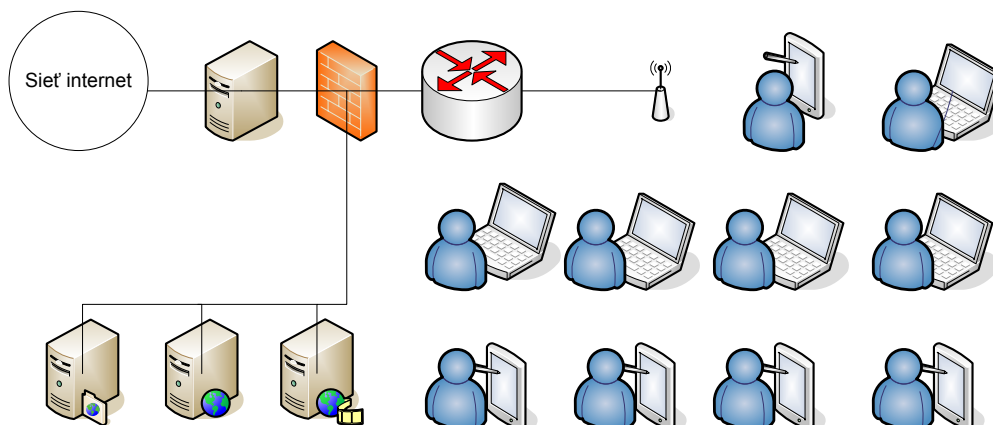
Na testovanie prenosovej rýchlosti, priepustnosti dát, pretečenia vyrovnávacej pamäte a na základe teoretických poznatkov dosiaľ uvedených v dizertačnej práci bol použitý softvér od spoločnosti Adobe s názvom Adobe Flash Media Streaming Server 4 [4, 6, 8, 11, 12, 13, 28, 29, 38, 41, 43, 47, 56]. Uvedený softvér je vhodný na riešenie poskytovania videí bez formy progresívneho sťahovania. Media Streaming Server je schopný riešiť problematiku tzv. „on-demand streamingu“ na rôznych platformách a zariadeniach. Súčasťou vybavenia je vyššia ochrana obsahu prostredníctvom šifrovania RTMP (Real Time Messaging Protocol) [11, 12] a overovania súborov typu SWF (Shockwave Flash). Veľkou výhodou je prispôsobovanie kvality prehrávania vďaka streamingu s adaptívnou prenosovou rýchlosťou.

6. Namerané výsledky a ich zhodnotenie

Meranie je rozložené do dvoch častí:

- meranie, kde zdrojovým signálom je streamované video,
- meranie, kde zdrojovým signálom je interaktívne video,
- meranie za účelom skúmania vplyvu QoS-WMM mechanizmu na zdrojové signály.

V rámci merania sú využívané dva typy zariadení – Apple Airport Extreme, ktoré nemá podporu kvality služby a SMC Barricade N s podporou kvality služby.



Obr. 3 – Meracie pracovisko

Meranie č.1

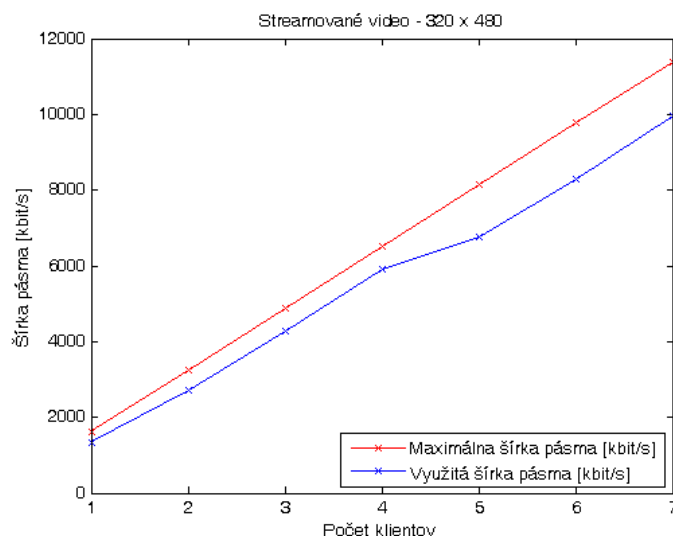
Vstupné parametre:

Video: flv (Flash video), VP6 kodek, 20 fps (frame per second), (320 x 240) pixelov, 1500 kbit/s

Audio: mp3, stereo, 44 kHz, 128 kbit/s

Tab 5 Tabuľka nameraných parametrov

Počet klientov	Maximálna šírka pásma [kbits/s]	Využitá šírka pásma [kbits/s]	Počet stratených paketov
1	1628	1343	0
2	3256	2708	0
3	4884	4274	0
4	6512	5904	0
5	8140	6753	0
6	9768	8282	0
7	11396	9952	0



Obr. 4 Grafické znázornenie nameraných výsledkov merania č.1

Zhodnotenie:

Prvé meranie pozostávalo z počiatočnej prenosovej rýchlosti 1628 kbit/s pre jedného klienta spojené s audiosignálom v stereo prevedení. Počas merania sa nevyskytli nepriaznivé vplyvy, ktoré by ovplyvnili kvalitu videosignálu.

Meranie č.2

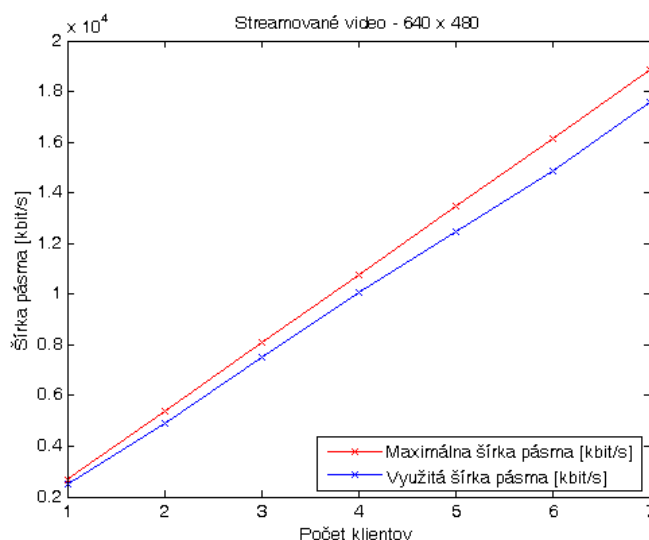
Vstupné parametre:

Video: flv (Flash video), VP6 kodek, 20 fps (frame per second), (640 x 480) pixelov, 2500 kbit/s

Audio: mp3, stereo, 44 kHz, 192 kbit/s

Tab 6 Tabuľka nameraných parametrov

Počet klientov	Maximálna šírka pásma [kbit/s]	Využitá šírka pásma [kbit/s]	Počet stratených paketov
1	2692	2491	0
2	5384	4878	0
3	8076	7503	0
4	10768	10047	0
5	13460	12463	0
6	16152	14878	0
7	18844	17571	0



Obr. 5 Grafické znázornenie nameraných výsledkov merania č.2

Zhodnotenie:

Pri druhom meraní bolo zväčšené rozlíšenie, čo sa prejavilo aj na väčšom množstve odosielaných paketov zo servera. Veľkosť jedného streamu bola stanovená na teoretickú hodnotu 2692 kbit/s. Na základe nameraných výsledkov je možné konštatovať, že nedochádzalo k strate paketov.

Meranie č.3

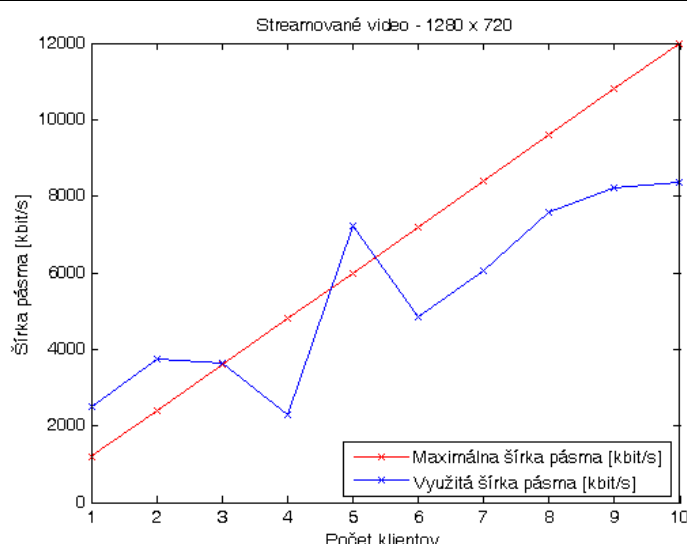
Vstupné parametre:

Video: h264 kodek, 24 fps (frame per second), (1280 x 720) pixelov, 1200 kbit/s

Audio: AAC (Advanced Audio Coding), stereo, 44 kHz

Tab 7 Tabuľka nameraných parametrov

Počet klientov	Maximálna šírka pásma [kbits/s]	Využitá šírka pásma [kbits/s]	Počet stratených paketov
1	1200	2491	2
2	2400	3747	4
3	3600	3650	0
4	4800	2293	0
5	6000	7220	3
6	7200	4834	0
7	8400	6041	0
8	9600	7591	0
9	10800	8230	0
10	12000	8357	0



Obr. 6 Grafické znázornenie nameraných výsledkov merania č.3

Zhodnotenie:

Meranie č. 3 je charakteristické novým typom prenosu VoD (Video on Demand). V podstate je to stream videa, ktorého obsahom bolo výukové video vo veľmi kvalitnom rozlíšení. Pri distribúcii spomínaného typu na viacero zariadení dochádzalo k nekonzistentnému prenosu, ako je vidieť na obr. 6. Pod zvýšenou hodnotou aktuálnej šírky pásma sa podpísalo ukladanie videí do zdieľanej pamäte. Naopak zvýšená hodnota šírky pásma bola spôsobená prevádzkou na reálnej sieti, pri ktorej dochádzalo k strate paketov.

Meranie č.4

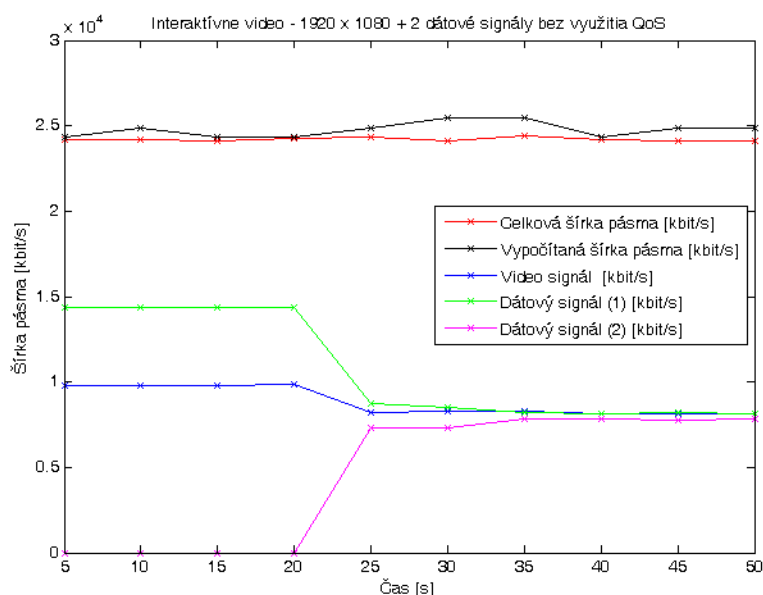
Vstupné parametre:

Video: h264 kodek, 24 fps (frame per second), (1920 x 1080) pixelov, 2600 kbit/s

Audio: AAC (Advanced Audio Coding), stereo, 44 kHz
 Dáta: dátový signál o veľkosti 14336 kbits/s

Tab 8 Tabuľka nameraných parametrov

Čas [s]	Celková šírka pásma [kbits/s]	Video signál [kbits/s]	Dátový signál (1) [kbits/s]	Dátový signál (2) [kbits/s]
5	24161	9825	14336	0
10	24156	9820	14336	0
15	24136	9800	14336	0
20	24236	9900	14336	0
25	24323	8226	8748	7349
30	24140	8320	8490	7330
35	24410	8290	8250	7870
40	24152	8170	8135	7847
45	24132	8152	8190	7790
50	24109	8175	8124	7810



Obr. 7 Grafické znázornenie nameraných výsledkov merania č.4

Zhodnotenie:

Na meraní č.4 sa preukázala dôležitosť prioritizácie prevádzky. Z grafického znázornenia vyplýva (obr. 7), že všetky prebiehajúce dátové toky sú ovplyvnené šírkou pásma. V rámci merania č.4 sa porovnávala vypočítaná hodnota šírky pásma s celkovou šírkou pásma podľa vzorového výpočtu uvedeného v kapitole 5.

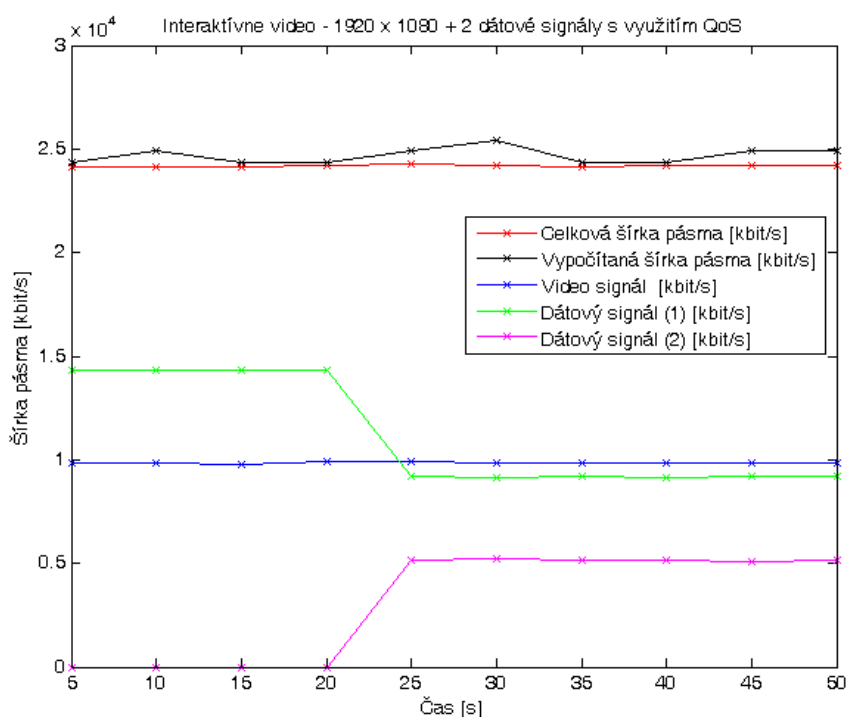
Meranie č.5

Vstupné parametre:

Video: h264 kodek, 24 fps (frame per second), (1920 x 1080) pixelov, 2600 kbit/s
 Audio: AAC (Advanced Audio Coding), stereo, 44 kHz
 Dáta: dátový signál o veľkosti 14336 kbits/s

Tab 9 Tabuľka nameraných parametrov

Čas [s]	Celková šírka pásma [kbits/s]	Video signál [kbits/s]	Dátový signál (1) [kbits/s]	Dátový signál (2) [kbits/s]
5	24161	9825	14336	0
10	24156	9820	14336	0
15	24136	9800	14336	0
20	24236	9900	14336	0
25	24256	9920	9216	5120
30	24186	9850	9136	5200
35	24156	9820	9186	5150
40	24206	9870	9156	5180
45	24186	9850	9236	5100
50	24186	9850	9196	5140



Obr. 8 Grafické znázornenie nameraných výsledkov merania č.5

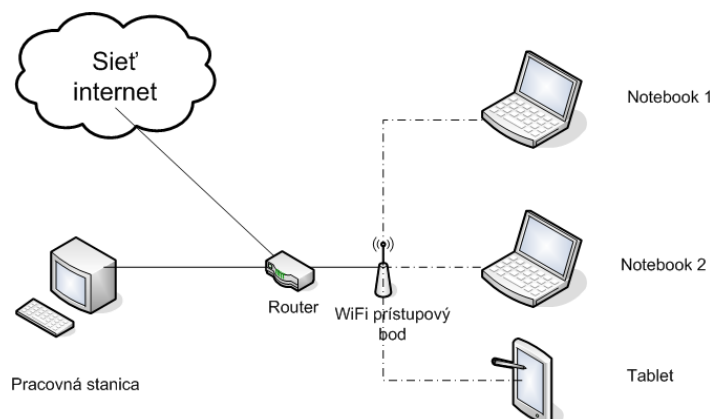
Zhodnotenie:

Meranie č.5 bolo zamerané na sledovanie vplyvu prioritizácie prevádzky, kde do prenosu na časovej osi vstúpil video signál a dátové toky. V tomto meraní sa potvrdili teoretické predpoklady – ak sa prioritizuje video signál, znižuje sa šírka pásma pre dátové signály tak, aby bola zachovaná kontinuita videosignálu. V rámci merania č.5 sa porovnávala vypočítaná hodnota šírky pásma s celkovou šírkou pásma podľa vzorového výpočtu uvedeného v kapitole 5.

7. Ďalšie možnosti využitia bezdrôtového prenosu

V súčasnosti sa v domácnostiach využíva model, ktorý je z finančného hľadiska najmenej náročný. Pozostáva zo zariadenia WiFi smerovač alebo WiFi Access Point. Bežný používateľ sa vie prostredníctvom akéhokoľvek zariadenia,

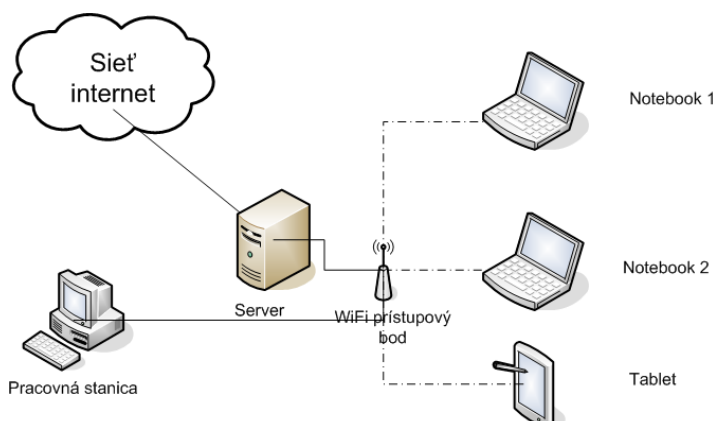
ktoré obsahuje modul WiFi pripojiť na WiFi smerovač, ktorý mu poskytne prístup do siete Internet. Takýto spôsob je graficky znázornený na obr. 9.



Obr. 91 - Model využitia bezdrôtového prenosu

V súčasnej dobe môžeme konštatovať, že ide o pripojenie, ktoré je veľmi neefektívne, pretože väčšina prístupových zariadení je typu notebook, resp. tablet, a je preto potrebné, aby zariadenia mali zabezpečené automatické aktualizácie operačného systému, pridelené prístupové práva a podobne. Zároveň väčšina používateľov nie je dostatočne oboznámená s možnosťami konfigurácie zariadení WiFi router alebo WiFi Access point. Najčastejším spôsobom zabezpečenia je zabezpečený prístup na horeuvedené zariadenia, a to prostredníctvom šifrovacích protokolov. Niektorí používatelia využívajú aj zabezpečenie zariadenia na MAC adresu. Takýto typ zabezpečenia je úplne zbytočný, nakoľko jeho prelomenie je otázkou niekoľkých sekúnd.

Na obr. 10 je graficky znázornený model, ktorý rieši nedostatky, ako sú manažovateľnosť, bezpečnosť prenosu, smerovanie dátových tokov a podobne.



Obr. 2 - Model využitia bezdrôtového pripojenia

Navrhované riešenie pozostáva z jedného mikroserversa, na ktorom je predinštalovaný operačný systém Windows Server 2012 Foundation. Mikroserver obsahuje 2 sieťové karty, kde prvá slúži na príjem signálu zo siete Internet. Druhá sieťová karta je napojená na WiFi router alebo WiFi Access point. WiFi zariadenie signál spracuje a prostredníctvom neho sa signál šíri do okolitého prostredia. Prostredníctvom spomínaného riešenia dokážeme zabezpečiť triedenie dátových

tokov, ktoré majú prechádzať cez WiFi zariadenie. Využitím domény vieme manažovať klientske stanice, ako sú napríklad notebook alebo tablet, vieme definovať jednotlivé role a ich prístupy, zamedziť prostredníctvom práv neoprávneným inštaláciám na koncových zariadeniach, definovať obsah, ktorý môžu používatelia koncových zariadení prezerať, zabezpečiť pravidelné aktualizácie operačných systémov. Veľmi dôležitou súčasťou servera je firewall a definovanie portov, ktoré majú byť povolené. Takýmito vymoženosťami dokážeme vo veľkej miere zaručiť manažovateľnosť siete a dátových prúdov z jedného prístupového bodu.

Ďalším veľmi dôležitým prvkom v modeli je WiFi zariadenie. Pokiaľ chceme rýchly prenos, zariadenie musí podporovať štandard 802.11n. Väčšina týchto zariadení má zabudovanú funkciu WMM, resp. kvalitu služieb, ktorej úlohou je uprednostňovať video a audio signál pred dátovým tokom. Spomínané riešenie je tiež vhodné pre menšie firmy. Pri implementovaní tohto riešenia je potrebné zdôrazniť dodržiavanie licenčných podmienok spoločnosti, ktorá vydáva operačný systém. Vzhľadom k blížiacemu sa uvedeniu štandardu 802.11ac do produkčného prostredia už nebude potrebné mať nainštalované sieťové rozvody v takom množstve, ako je to doteraz.

Na základe uvedených informácií môžeme zhodnotiť navrhované riešenie v nasledovných bodoch.

Výhody:

- serverové vybavenie, ktoré sa stará o jednotlivé dátové toky,
- WiFi zariadenie, ktoré rieši prioritizáciu,
- manažment pracovných staníc,
- distribúcia politík do klientskych staníc,
- bezpečnosť,
- zdieľanie súborov,
- zdieľanie tlačiarň,
- služba Vzdialená plocha,
- využitie pre internetové webové služby a ako webovú serverovú platformu pre intranety a extranety, kde je požadované overovanie používateľov.

Nevýhody:

- cena riešenia

8. Celkové zhodnotenie nameraných výsledkov

Na základe vykonaných meraní a získaných výsledkov, uvedených v kapitole 6, je možné zhodnotiť aplikovanie výhod a nevýhod WMM. Vyhodnotením jednotlivých meraní je možné stanoviť optimálne riešenie prenosu video signálu v rámci bezdrôtových služieb. Na základe dosiahnutých výsledkov z merania je možné vysloviť nasledovné závery:

Merania boli rozdelené do troch častí, v ktorých bol skúmaný vplyv priepustnosti siete na streamované video, video on demand a na záver bola otestovaná priepustnosť siete vrátane aplikovania mechanizmov WMM. Vzhľadom na to, že v rámci dizertačnej práce boli skúmané možnosti aplikovania prenosu obrazu prostredníctvom bezdrôtových sietí pre školiace potreby, bolo potrebné vytvoriť testovacie pracovisko, ktoré je vyobrazené na príslušnej schéme na začiatku meraní.

Vytvorené testovacie pracovisko pozostávalo zo servera, ktorý spracovával tok informácií zo siete internet, následné príslušných serverov, ktoré boli interné (FTP, WEB server intranet, streaming server), firewall-u, ktorý oddeľoval vonkajšiu a vnútornú sieť, následne smerovača, ktorého úloha bola spracovať signál a rozposielať ho ďalej podľa požiadaviek a následne WiFi prístupového bodu.

Z hľadiska vybavenia pre samotných používateľov, boli ako koncové používateľské zariadenia k dispozícii notebooky a tablety (Samsung Galaxy, Google ePAD Android, Notebook HP625), ktoré mali v sebe zabudovanú možnosť pripojenia sa na bezdrôtovú sieť. Na streamovacím serveri bola nainštalovaná aplikácia Adobe Flash Media Server, prostredníctvom ktorej sa konvertovali videá a boli pripravené na distribúciu. Aplikácia ponúkala širokú škálu nastavení, ktoré sú spomínané pri každom meraní.

Na základe nadobudnutých teoretických vedomostí bolo možné pristúpiť k testovaniu priepustnosti, ktoré slúžilo na stanovenie optimálnych parametrov na šírenie videosignálu.

Diskusia nameraných výsledkov

Na základe všetkých vykonaných meraní je možné navrhnúť nasledovné Na základe všetkých vykonaných meraní je možné navrhnúť nasledovné optimalizačné opatrenia na úspešný prenos multimediálnych tokov v rámci bezdrôtových sietí:

- Na jeden prístupový bod je možné pripojiť viacerých účastníkov v závislosti od kvality signálu.
- Čím je vyššia kvalita multimediálneho toku, tým menší počet účastníkov je možné pripojiť.
- Dôležitú úlohu zohráva priepustnosť siete. Maximálna reálna priepustnosť tokov na bezdrôtovej sieti bola 25 Mbit/s,
- Priepustnosť siete bola minimálne závislá od tlmenia, nakoľko rýchlosť prenosu dátového toku bola na úrovni takmer 98%.
- Väčšina zariadení v súčasnej dobe obsahuje možnosť aplikácie QoS mechanizmov v rámci prenosu dát v sieti. Výsledky merania ukázali, že pokiaľ dochádza v bezdrôtovej sieti k prenosu multimediálneho obsahu, nie je potrebná aplikácia QoS mechanizmov, ba dokonca skôr dochádza k spomaleniu prenosu v sieti (nie je čo uprednostňovať, keď ide o rovnaký obsah). Pokiaľ sú však posielané po sieti aj dátové toky, je nutné aplikovať QoS mechanizmy. Zároveň v rámci nastavení bezdrôtovej siete je potrebné stanoviť limit priepustnosti dátových tokov. Pritom je potrebné mať na pamäti fakt, že nakoľko môže dôjsť k spomaleniu multimediálneho obsahu, má to za následok nutnosť zníženia počtu používateľov v bezdrôtovej sieti.

V oblasti e-learningu sa čoraz viac otvára priestor na implementáciu a prevádzkovanie videokonferencií. V súčasnej dobe existuje na školách, štátnych inštitúciách, firmách bezdrôtové pripojenie, ktoré nemusí slúžiť iba na pripojenie sa do siete internetu, ale aj na vzdelávanie a sledovanie videokonferencií. Medzi významné aplikácie patrí softvérový produkt Moodle, ktorý sa počas niekoľkých rokov dokázal rozvinúť do takých rozmerov, že dnes už nie je problém s implementáciou rôznych modulov na vzdelávanie. Jedným z modulov môže byť aj videokonferencia, kde prostredníctvom obrazovky je možné vidieť jednotlivé kroky danej úlohy a zároveň je možné on-line takúto úlohu si aj vyskúšať. V prípade problému je možné prakticky okamžite komunikovať s lektorom, ktorý vie danú látku, prípadne postup vysvetliť.

Takýto spôsob výučby prináša veľké množstvo výhod, ako je napr. flexibilita, možnosť zopakovania si kurzu, komunikatívnosť, pohodlie a podobne. Naopak, nevýhodou môže byť kontrola, či daná osoba pochopila prednášané učivo.

Plnohodnotný e-learning z hľadiska uplatniteľnosti v oblasti školstva je možné bez problémov aplikovať v rámci vysokého školstva. Uplatnenie e-learningu sa nájde aj v moderných firmách a spoločnostiach, kde sa konajú často školenia - zamestnanci týmto spôsobom budú mať zabezpečený kedykoľvek prístup k učebným materiálom.

Záverom teda možno zdôrazniť, že poskytovanie videoslужieb prostredníctvom bezdrôtových sietí má obrovské množstvo výhod, ale všetko závisí od správneho návrhu siete, optimalizovania parametrov a implementácie čiastkového systému do školského, resp. firemného prostredia

Prínos pre prax a vednú disciplínu

Dizertačná práca s názvom Návrh, realizácia a optimalizácia prenosu dátových tokov v prostredí širokopásmových telekomunikačných sietí sa zaoberala návrhom optimálnej bezdrôtovej siete, ktorá rieši konvergenciu hlasových a dátových služieb do IP sietí, definovanie QoS mechanizmov, ktoré by zabezpečili kvalitu prenosu pri použití čo najnižších nákladov na zariadenia a prevádzku e-learningových služieb.

Cieľom práce bol návrh infraštruktúry bezdrôtovej siete, prostredníctvom ktorej sa šírila videostreaming na pracovné stanice. Veľký dôraz sa kládol na priepustnosť dát v bezdrôtovej sieti, pričom sa sledovalo aj serverové zaťaženie. Výsledky ukázali, že pri väčších dátových tokoch je priepustnosť siete nepostačujúca. Zároveň pri šírení signálu o kvalite HD dochádzalo k výpadku ukladania dát do vyrovnávacej pamäti, čo spôsobovalo nepostačujúce serverové vybavenie. Prostredníctvom získaných a nadobudnutých informácií sa dospelo k návrhu meracieho pracoviska a k nasadeniu softvéru, ktorý dokázal zabezpečiť interoperabilitu interaktívnych dátových tokov v rámci bezdrôtovej siete v postačujúcej kvalite. V rámci prenosu dát prostredníctvom bezdrôtovej siete sa na základe získaných poznatkov analyzoval spôsob prenosu. Jedným spôsobom je prenos prostredníctvom EDCA, kde je dôležité dbať na parametre oneskorenia a spôsobu priepustnosti dátových tokov. Oneskorenie nesmie byť príliš veľké - z dôvodu zvyšovania inicializačného času relácie a ani príliš krátke - z dôvodu nesprávneho spracovania paketov. Systém EDCA nebol v rámci meraní aplikovaný.

V rámci meraní sa využíval protokol TCP z dôvodu prenosu dát po blokoch od vysielacej strany k prijímacej strane, pričom pri prenosoch nedochádzalo k zahlteniu prevádzky. Aplikáciou TCP protokolu v rámci prenosu bezdrôtovej siete sa využíva fakt, že prenos je nepretržitý a vhodný na prenos videostreamov. V rámci dizertačnej práce bol okrem samotného výberu protokolu na prenos prostredníctvom bezdrôtovej siete navrhnutý model optimalizovania priepustnosti. Priepustnosť je definovaná ako pomer očakávaných údajov k očakávanej dobe trvania, udáva sa v percentách a zahŕňa neskreslené prijaté pakety bez chybovosti. Väčšina hlasových aplikácií a videoaplikácií dáva prednosť pred veľmi malým užitočným zaťažením a zároveň zaisťuje spoľahlivé a minimálne oneskorenie poskytovania služieb.

Na optimalizovanie priepustnosti dát v bezdrôtovej sieti vplývajú dĺžka užitočnej informácie, prenosová rýchlosť priepustnosti na fyzickej vrstve, počet bitov na symbol, intenzita signálu a v neposlednom rade aj úspešnosť doručenia paketu. Na bezdrôtovej sieti, na ktorej sa vykonávali merania sa nastavil server tak, aby bol k dispozícii tok dát typu videostream.

Okrem spomínaného aplikovania došlo bezpečnostnému zabezpečeniu bezdrôtovej siete (kapitola 3). Aplikáciou uvedených nastavení sa podarilo zabezpečiť interopeabilitu výučbového modulu v prostredí bezdrôtovej WiFi siete. Pri testovaní prevádzky sa uvažovalo aj o aplikovaní QoS mechanizmov na zabezpečenie dostatočnej kvality prenosu. V rámci testovania priepustnosti pri aplikovaní QoS sa dokázalo, že prenosom dátového toku prostredníctvom bezdrôtovej siete došlo k zníženiu prenosovej rýchlosti dátového toku za podmienky, že prebiehal prenos aj iných typov tokov. V rámci siete sa aplikovali služby WMM a v rámci kvality služby QoS dochádza k prioritizácii jednotlivých dátových tokov. Jednotlivé namerané výsledky a celkové zhodnotenie sú uvedené v kapitole 6 a 8.

Ďalším prínosom pre prax a vednú disciplínu je aplikovanie optimalizovaného modelu, ktorý je ľahko implementovateľný v domácnostiach a na distribúciu dátových tokov využíva bezdrôtový prenos. Aplikovaním navrhovaného riešenia vieme zabezpečiť manažovateľnosť pracovných staníc, notebookov, bezpečnosť prenosu a podobne. Riešenie pozostáva z jedného mikroserversa, na ktorom je predinštalovaný operačný systém Windows Server 2012 Foundation. Mikroserver obsahuje 2 sieťové karty, kde prvá slúži na príjem signálu zo siete Internet. Druhá sieťová karta je napojená na WiFi router alebo WiFi Access point. WiFi zariadenie signál spracuje a prostredníctvom neho sa signál šíri do okolitého prostredia. Takýmto modifikovaným modelom dokážeme zabezpečiť triedenie dátových tokov, ktoré majú prechádzať cez WiFi zariadenie. Prostredníctvom domény vieme manažovať klientske stanice, ako sú napríklad notebook alebo tablet, vieme definovať jednotlivé role a ich prístupy, zamedziť prostredníctvom práv neoprávneným inštaláciám na koncových zariadeniach, definovať obsah, ktorý môžu používatelia koncových zariadení prezerať, zabezpečiť pravidelné aktualizácie operačných systémov. Veľmi dôležitou súčasťou servera je firewall a definovanie portov, ktoré majú byť povolené. Takýmito vymoženosťami dokážeme vo veľkej miere zaručiť manažovateľnosť siete a dátových prúdov z jedného prístupového bodu. Ďalším veľmi dôležitým prvkom v modeli je WiFi zariadenie. Pokiaľ chceme rýchly prenos, zariadenie musí podporovať štandard 802.11n. Väčšina týchto zariadení má zabudovanú funkciu WMM, resp. kvalitu služieb, ktorej úlohou je uprednostňovať video a audio signál pred dátovým tokom. Výhodou tohto riešenia je aplikovanie pre domácnosť a menšie firmy

Meraním sa dokázalo, že šírenie videostreamu prostredníctvom bezdrôtovej siete má svoj význam, pričom pre jeho úspešnosť je potrebné dodržať pravidlá, ktoré sú popísané v rámci dizertačnej práce.

Prínos pre prax a rozvoj vednej disciplíny možno zhrnúť nasledovne:

- bolo navrhnuté riešenie bezdrôtovej siete pre školské zariadenia s dôrazom na čo najnižšie náklady na realizáciu,
- bolo navrhnuté riešenie bezdrôtovej siete pre domácnosť a menšie spoločnosti,
- bolo navrhnuté riešenie priepustnosti siete prostredníctvom modifikovaného matematického modelu v prostredí bezdrôtových WiFi sietí,
- boli definované parametre pre bezdrôtový prenos s využitím EDCA,
- boli otestované výsledky prenosu videostreamu v bezdrôtových WiFi sieťach reálnom školskom prostredí,
- bolo nájdené najoptimálnejšie riešenie prenosu videosignálu v bezdrôtových sieťach WiFi,

- bola zabezpečená kvalita služby QoS využitím mechanizmu WMM pri zabezpečení dostatočnej kvality prenosu pri zohľadnení čo najnižších nákladov na použité zariadenia a prevádzku e-learningových služieb.

Záver

Práca s názvom Návrh, realizácia a optimalizácia prenosu dátových tokov v prostredí širokopásmových telekomunikačných sietí sa zaoberala návrhom optimálnej bezdrôtovej siete, ktorá rieši konvergenciu hlasových a dátových služieb do IP sietí, definovanie QoS mechanizmov, ktoré by zabezpečili kvalitu prenosu pri použití čo najnižších nákladov na zariadenia a prevádzku e-learningových služieb.

So zabezpečením kvality služby je správca siete schopný riadiť spotrebu zdrojov v rámci aplikácie, ako aj zabezpečiť prijateľné sieťové služby pre koncových používateľov. Riešenia QoS pre prevádzkovanie širokopásmových služieb podporovali všetky prvky siete, vrátane klasifikácie, pravidiel, tvarovania, plánovania a riadenia prístupu, ako aj mechanizmy na podporu rozhodovania riadenia prístupu, ako je napríklad riadenie prevádzky.

Cieľom práce bolo na základe získaných poznatkov implementovať riešenie prenosu dátových tokov rôzneho typu v rámci bezdrôtových sietí s cieľom ich optimalizácie. V práci je rozoberaná problematika komunikácie medzi rámcami, distribučná koordinačná funkcia a bodová koordinačná funkcia. Dôležitou časťou bolo zabezpečenie kvality služieb pri využívaní bezdrôtovej technológie. V rámci práce bola podrobnejšie rozobraná problematika rozšírenej distribučnej koordinačnej funkcie – EDCA, v ktorej sa riešili vplyvy, akú sú výkonnosť a priepustnosť údajových tokov. V rámci optimalizácie priepustnosti dátových tokov bol navrhnutý modifikovaný model, ktorý opisuje možnosti ich optimalizovania, na ktoré pôsobia rôzne nepriaznivé vplyvy, ktoré boli rozanalyzované v kapitole s názvom „Model optimalizovania priepustnosti bezdrôtovej siete“. Na základe nameraných výsledkov bola stanovená miera priepustnosti dátových tokov, stabilita prevádzky a ostatné prvky, ktoré ovplyvňujú prijímanie a spracovanie jednotlivých tokov. V rámci meraní bola sledovaná a vyhodnocovaná predovšetkým prenosová rýchlosť a množstvo pripojených používateľov v rámci prístupového bodu.

V rámci ďalšieho využitia bezdrôtových sietí bol navrhnutý a v praxi odskúšaný model s možnosťou šírenia bezdrôtového signálu s využitím serverovej stanice. Prostredníctvom servera sa zabezpečil manažment pracovných staníc, distribúcia politík do klientskych staníc, bezpečnosť, zdieľanie súborov, zdieľanie tlačiarň, využívanie služby Vzdialená plocha, využívanie internetových webových služieb a ako webová serverová platforma pre intranety a extranety.

Na základe získaných výsledkov je možné konštatovať nasledovné zistenia:

- Na úspešný prenos videosignálu prostredníctvom bezdrôtovej siete má veľký vplyv šírka pásma, kvalita signálu a v neposlednom rade aplikácia QoS mechanizmov – využitie WMM.
- Výsledky merania tiež ukázali, že aplikovanie QoS mechanizmov nemá žiadny pozitívny vplyv, pokiaľ ide o prenos iba videosignálov.
- Aplikovaním QoS mechanizmu pri rôznych typoch tokov signálov dochádza k uprednostňovaniu video toku pred dátovým tokom. V praxi to znamená nastavenie väčšej priority na prenos videosignálu oproti dátovému signálu (viď obr. 7 a obr. 8). Negatívne to však vplýva na prenášanú šírku pásma. V praxi to znamená, že čím sú kladené väčšie nároky na kvalitu prenášaného signálu, tým menej je možné pripojiť účastníkov na bezdrôtovú sieť.

- Nezanedbateľnou časťou je kvalitné hardvérové vybavenie serveru, aby dokázal v reálnom čase spracovávať požiadavky pre prácu so signálom.

V uvedenom školskom zariadení bolo na základe uskutočnených meraní stanovené, že na optimálnu prevádzku video streamov v rámci využívania e-learningových služieb je maximálny prípustný počet účastníkov osem.

Signál o kvalite HD nie je vhodný (a ani potrebný) pre využívanie e-learnigu v školiacich zariadeniach. V rámci pripojenia bezdrôtovej siete k sieti internet sa odporúča aplikovať opatrenia na zníženie prenosovej rýchlosti pre sieť internet z dôvodu ovplyvňovania kvality videostreamov odoberaných zo servera. Významný vplyv má v tomto prípade aplikácia QoS mechanizmu – WMM, ktorý uprednostňuje videosignál pre dátovým signálom.

Dizertačná práca poukazuje na možné riešenie problematiky využívania bezdrôtových sietí pre e-learningové služby, poukazuje na rôzne nedostatky a uvádza riešenia na ich elimináciu. Výsledkom je konštatovanie, že bezdrôtové siete v rámci zabezpečenia prenosu na krátke vzdialenosti (pri absencii pevnej sieťovej infraštruktúry) majú svoj význam, aj keď určitým negatívom je využiteľná šírka pásma, ktorú však bude v blízkej budúcnosti určite možné zväčšiť.

Summary

The work called Design, implementation and optimization of data streams in the area of broadband telecommunications networks called the design of optimal wireless network that addresses the convergence of voice and data services to IP networks, definition of QoS mechanisms that would ensure the transmission quality using the lowest cost of establishment and operation of e-learning services.

With quality assurance services, the administrator is able to manage the network resource consumption within the application, and to ensure acceptable network services to end-users. QoS solutions for broadband services support the operation of all network elements, including classification, rules, shaping, planning and management approach as well as mechanisms for decision support access control, such as traffic management.

The aim of this work was based on acquired knowledge to implement solutions transfer data streams of different types within the wireless networks in order to optimize them. The work -discussed issue of communication between frameworks, distribution coordination function and point coordination function. An important part was to provide quality services in the use of wireless technology. As part of the work was further dismantled widening of the distribution coordination function - EDCA, which address the effects, what are the performance and throughput data streams. To optimize the throughput of data streams was proposed modified model, which describes the possibility of optimizing for operating various adverse effects that have been appropriately considered in the chapter titled "Model optimizing throughput wireless network". Based on the measured results was determined permeation rate data streams, stability of operation and other factors affecting the receipt and processing of individual flows. Within measurements has been investigated and evaluated in particular baud rate and number of connected users within the access point.

In another use of wireless networks has been designed and tested practice model with the spread of wireless signal using the server station. Through the server

management to ensure workstations, distribution policies to client stations, security, file sharing, printer sharing, use Remote Desktop, use of Internet and Web services as a web server platform for intranets and extranets.

Based on the obtained results it can be concluded the following findings:

- At the successful transmission of video through a wireless network has a big impact bandwidth, signal quality, and not many applications QoS mechanisms - using WMM.
- The measurement results also showed that the application of QoS mechanisms has no positive effect as regards the transmission of video signals only.
- Applying QoS mechanism for different types of flow signals occurs to favor the video stream before the data stream. In practice, this means setting a higher priority for transmission of video data signals in comparison (see Fig. 7 and Fig. 8). However, it negatively affects the transmitted bandwidth. In practice, this means that the greater demands are placed on the quality of the transmitted signal, the less it is possible to connect to a wireless network Participants at.
- An essential part of a quality server hardware equipment to be able to process real-time requirements to work with the signal.

That was a school on the basis of the measurements determined that the optimal operation of video streams in the use of e -learning services, the maximum permissible number of eight participants.

HD signal is not suitable (and even necessary) to use e - learnig in training facilities. Within the wireless network connection to the Internet is recommended to apply measures to reduce the transmission rate for the network internet in order to influence the quality of video streams taken off from the server. Significant effect in this case has application QoS mechanism - WMM, favoring the video data signal.

Dissertation thesis points to a possible solution to the issue of the use of wireless networks for e-learning services, points out various shortcomings and provides solutions to eliminate them. The result is the finding that wireless networks in order to safeguard transmission over short distances (in the absence of fixed network infrastructure) are important, although some negative the usable bandwidth, but it will in the near future certainly be larger.

Použitá literatura

[1] - http://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/technology/handbook/Voice_Data.html, 15.07.2012

[2] - G. Cena, L. Seno, A. Valenzano, and C. Zunino, "On the performance of IEEE 802.11e wireless infrastructures for soft-real-time industrial applications," IEEE Trans. on Industrial Informatics, Vol. 6, No. 3, strana 425-437, Aug 2010.

[3] - G. Cena, I. Cibrario Bertolotti, A. Valenzano, and C. Zunino, "Evaluation of response times in industrial WLANs," IEEE Trans. On Industrial Informatics, Vol. 3, No. 3, Aug 2007, strana 191-201.

[4] - http://www.ciscosystems.sc/en/US/docs/voice_ip_comm/cucm/admin/4_0_1/ccmsys/a08sip.pdf, 23.03.2012

[5] - M. Maadani, S. A. Motamedi, and M. Mohammadi Noshari, "Delay Analysis and Improvement of IEEE 802.11e-Based Soft-Real-Time Wireless Industrial Networks using an Open-Loop Spatial Multiplexing Scheme," in Proc. IEEE International Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (CNDs 2011), Tehran, 2011, strana. 17 - 22.

- [6] http://compression.ru/video/codec_comparison/pdf/msu_mpeg_4_avc_h264_codec_comparison_2006_eng.pdf, str. 17-38, 05.08.2012
- [7] G. Xylomenos, G.C. Polyzos, P. Mahönen and M. Saaranen, "TCP, Performance Issues over Wireless Links," IEEE Communications Magazine, číslo. 4/ 2001, strana 52-58., 05.08.2012
- [8] G.R. Cantieni, Q. Ni, C. Barakat and T. Turetti, "Performance Analysis under Finite Load and Improvements for Multirate 802.11," Computer Communications, , číslo. 10/ 2005, strana 1095-1109., 04.07.2012.
- [9] - SIP: Understanding the Session Initiation Protocol (Artech House Telecommunications), Alan B. Johnston, Publication Date: September 30, 2009, ISBN-10: 1607839954
- [10] - A. Willig, "Recent and Emerging Topics in Wireless Industrial Communications: A Selection," IEEE Trans. On Industrial Informatics, Vol. 4, No. 2, strana. 102-124, May 2008.
- [11] - LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis, Leonhard Korowajczuk, Publication Date: August 30, 2011, strana 235 – 242, ISBN-10: 047074149X
- [12] http://www.adobe.com/products/flashmediaserver/pdfs/flashmediaserver4_wp_ue_v2.pdf, str. 1-22, 30.05.2012
- [13] http://www.wimages.adobe.com/www.adobe.com/content/dam/Adobe/en/devnet/rtmp/pdf/rtmp_specification_1.0.pdf, str. 1-22, 11.01.2013
- [14] - D. P. Hole and F. A. Tobagi. "Capacity of an IEEE 802.11b Wireless LANS Supporting VOIP", in Proceedings of IEEE ICC, 2004, strana 196 – 201.
- [15] - P.A. Frangoudis, E.C. Efstathiou, and G.C. Polyzos, "Reducing Management Complexity through Pure Exchange Economies: A Prototype System for Next Generation Wireless/Mobile Network Operators," 12th Annual Workshop of the HP Open IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE 802.11 Standard-2007.
- [16] - IEEE Standard for Information Technology- Telecommunications and information exchange between system- Local and metropolitan area network-- Specific requirements-Wireless LAN MediumAccess Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput, IEEE 802.11n-2009.
- [17] H. Wu, Y. Peng, K. Long, J. Cheng and J. Ma. "Performance of Reliable Transport Protocol over IEEE 802.11 Wireless LAN: Analysis and Enhancement", in Proceedings of IEEE INFOCOMM, strana 599-607
- [18] J. P. Pavon and S. Choi. "Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength Measurement", in Proceedings of IEEE ICC, 2003, strana 1108-1113
- [19] - E.C. Efstathiou and G.C. Polyzos, "Self-Organized Peering of Wireless LAN Hotspots," European Transactions on Telecommunications, vol. 16, no. 5, September/October 2005, strana 78-91
- [20] J. G. Proakis. Digital Communications. New York, NY, McGraw-Hill Inc., third ed., 1995

- [21] - M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel and A. Duda, "Performance Anomaly of 802.11b", IEEE INFOCOM 2003, strana 836 – 846, March 2003
- [22] - <http://wow.eecs.berkeley.edu/ergen/docs/ieee.pdf>, str. 36-46, 10.04.2012
- [23] - DP - Galis - VoIP WiFi - Katedra informačných sietí - UNIZA, 2009, 15.04.2012
- [24] - 802.11 Wireless LAN Fundamentals, Pejman Roshan, Jonathan Leary, Publication Date: January 2, 2010, Chapter 2, ISBN-10: 1587142244
- [25] - 802.11 Wireless Networks: Security and Analysis (Computer Communications and Networks) Alan Holt, Chi-Yu Huang, Publication Date: July 8, 2010, strana 111 – 134, ISBN-10: 184996274X
- [26] - Wireless Quality of Service: Techniques, Standards, and Applications (Wireless Networks and Mobile Communications), Maode Ma, Mieso K. Denko, Publication Date: September 9, 2008, strana 57 - 87, ISBN-10: 142005130X
- [27] - Wireless Throughput Testing <http://blog.sudonetworks.com/2010/05/wireless-throughput-testing.html>, 10.04.2011
- [28] - G.R. Cantieni, Q. Ni, C. Barakat and T. Turletti, "Performance Analysis under Finite Load and Improvements for Multirate 802.11," Computer Communications, vol. 28, no.10, strana. 1095-1109, 2005
- [29] - M. Fomenkov, K. Keys, D. Moore and K. Claffy, "Longitudinal study of Internet traffic in 1998-2003", Winter International Symposium on Information and Communication Technologies (WISICT), January 2004, strana 1 - 6
- [30] - http://www.ee.ktu.lt/journal/2009/7/26_ISSN_1392-1215_Research%20of%20Real%20Time%20Traffic%20Transmission%20in%20802.11%20WLANs.pdf, 28.06.2012
- [31] - 802.11 WLAN Hands-On Analysis: Unleashing the Network Monitor for Troubleshooting and Optimization, Byron Putman, Publication Date: December 28, 2005, strana 41 – 59, ISBN-10: 1425907350
- [32] - http://www.ingate.com/files/white_paper_What_is_SIP_Trunking_A.pdf
- [33] - <http://wirelessu.org/uploads/units/2009/05/24/140/AfNOG09-WiFi.pdf>, strana 1-29, 08.07.2012
- [34] K. Thompson, G.J. Miller and R. Wilder, "Wide-Area Internet Traffic Patterns and Characteristics," IEEE Network, vol.11, no. 6, 1997, strana 10 - 23
- [35] G. Xylomenos and G.C. Polyzos, "TCP & UDP Performance over a Wireless LAN," IEEE INFOCOM 1999, strana. 439-446.
- [36] - G. Xylomenos, G.C. Polyzos, P. Mahönen and M. Saaranen, "TCP Performance Issues over Wireless Links," IEEE Communications Magazine, vol. 39, no. 4, 2001, strana 52-58.
- [37] - <http://www.hp.com/rnd/library/pdf/understandingWiFi.pdf>, strana 3-14, 22.07.2012
- [38] - <http://www.nowires.org/Papers-PDF/WiFiSec.pdf>, strana 34-36, 30.07.2012
- [39] - http://vpncasestudy.com/download/usefuldoc/wifi_performance.pdf, strana 1-29, 11.08.2012
- [40] - http://www.airtightnetworks.com/fileadmin/pdf/resources/WiFi_Security_Best_Practices.pdf strana 1, 11.08.2012
- [41] - <http://hal.inria.fr/docs/00/05/46/08/PDF/04-Kemerlis.pdf>, strana 1-6, 14.06.2012
- [42] - Wireless Home Networking For Dummies, 4th Edition, Danny Briere, Publication Date: November 16, 2010, strana 91 – 107, ISBN-10: 0470877251
- [43] - Designing and Deploying 802.11n Wireless Networks, Jim Geier, Publication Date: June 11, 2010, ISBN-10: 1587058898

- [44] - Performance enhancement of EDCA access mechanism of IEEE 802.11e wireless LAN, strana 507 – 510, ISBN : 978-1-4244-1463-5
- [45] - http://www.metageek.net/wp-content/uploads/2012/08/MetaGeek_OptimizingWirelessNetworks_2012.pdf, 15.12.2012
- [46] - Liechty, L., Reifsnider, E. & Durgin, G., (2007). Developing the Best 2.4 GHz Propagation Model from Active Network Measurements. In Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th., strana 894-896.
- [47] - Lammle, T., (2007) CCNA: Cisco Certified Network Associate, Study Guide, Exam 640-802, 6th Ed, Sybex
- [48] - C. Burmeister and U. Killat, "TCP over Rate-Adaptive WLAN-An Analytical Model and its Simulative Verification," in Proc. IEEE WoWMoM' 06, June 2006, strana. 1-5
- [49] - H. Zhai, X. Chen, and Y. Fang, "How Well Can the IEEE 802.11 Wireless LAN Support Quality of Service?," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 4, No. 6, Nov. 2005, strana 3084 - 3094
- [50] - J. Yu and S. Choi, "Modeling and Analysis of TCP Dynamics over 802.11 WLAN," in Proc. IEEE/IFIP WONS'07, Jan. 2007, strana 154 - 161
- [51] - <http://www.mwnl.snu.ac.kr/~schoi/publication/Journals/06-ETT.pdf>, strana 2-8, 17.10.2011

Zoznam publikácií autora

1. **ADAMKO, D.** – KUBICA, J. – ORGOŇ, M.: Návrh a realizácia portálu so zameraním na mobilné služby - WAP a WEB verzia, In: EE časopis pre elektrotechniku a energetiku. - ISSN 1335-2547. - Roč. 13, mimoriadne č (2007), s. 152-155
2. KUBICA, J. – **ADAMKO, D.** – ORGOŇ, M.: Návrh a realizácia portálu s implementáciou Content Management System, In: EE časopis pre elektrotechniku a energetiku. - ISSN 1335-2547. - Roč. 13, mimoriadne č (2007), s. 192-194
3. **ADAMKO, D.** - KUBICA, J. - ORGOŇ, M.: Softvérový audit, In: EE časopis pre elektrotechniku a energetiku. - ISSN 1335-2547. VOL 15. NO 5/S, 2009, 82-86
4. KUBICA, J. - **ADAMKO, D.** - ORGOŇ, M.: Optimalizácia bezpečnosti podnikových procesov, In: EE časopis pre elektrotechniku a energetiku. - ISSN 1335-2547. VOL 15. NO 5/S, 2009, 119-124
5. ORGOŇ, M. - **ADAMKO, D.** - MIŠUREC, M.: Proces vytvárania novej služby/aplikácie od vzniku idey až po implementáciu, In: EE časopis pre elektrotechniku a energetiku. ISSN 1335-2547. - VOL 16, NO 2, (2010), s. 19-23
6. **ADAMKO, D.** - ORGOŇ, M. - TARABA, J.: Software Inventory of Companies Software Audit in Slovakia, In: 33rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing - TSP 2010, ISBN 978-963-88981-0-4, pp. 248 – 252, July 2010, Viedeň , Rakúsko (in English)
7. **ADAMKO, D.** - KUBICA, J. - ORGOŇ, M.: Návrh a realizácia portálu s implementáciou Connect Management System. In: ŠVOČ 2008: Zborník víťazných prác. Bratislava, Slovak Republic, 23.4.2008. - Bratislava : STU v Bratislave FEI, 2008. - ISBN 978-80-227-2865-2

8. MIŠUREC, J. – MRÁKAVA, P. - **ADAMKO, D.**: Interference in power lines and its impact on narrow-band system PLC, In: 6th International Conference Teleinformatics. ICT - 2011 : Ayia Napa, Cyprus - ISBN 978-80-214-4231-3. - p. 89-92., Cyprus (in English)
9. MRÁKAVA, P.; MIŠUREC, J.; **ADAMKO, D.**: Interference in power lines and data communication over narrow-band PLC, Elektrorevue - Internetový časopis (<http://www.elektrorevue.cz>), 2011, VOL. 2, NO.3, roč. 2011, s. 63-67 ISSN: 1213-1539
10. ORGOŇ, M. - **ADAMKO, D.** - TARABA, J: Quality of Services in Videoconferencing by WI-FI. In: New Information and Multimedia Technologies. NIMT - 2011 : Brno, Czech Republic - Brno : University of Technology, 2011. - ISBN 978-80-214-4241-2. - p. 27-30., Brno, Česká Republika (in English)
11. TARABA, J. - KLÚČIK, S. - ORGOŇ, M. - **ADAMKO, D.**: Cooperation between UMA and Flash-OFDM Technologies: New Information and Multimedia Technologies. NIMT - 2011 : Brno, Czech Republic - Brno : University of Technology, 2011. - ISBN 978-80-214-4241-2. - p. 36-40., Brno, Česká Republika (in English)
12. KLÚČIK, S. - TARABA, J. - ORGOŇ, M. - **ADAMKO, D.**: The USE of PLC in Broadband Services Offered to Households: I.J. Information Technology and Computer Science, Modern Education and Computer Science. MESC 2012, DOI: 10.5815/ijitcs.2012.04.01 - ISSN: 2074-9007 (Tlačená verzia) - ISSN: 2074-9015 (Online) – p. 1-8, Hong Kong (in English)
13. **ADAMKO, D.**: Modifikovaný model na optimalizáciu priepustnosti bezdrôtového pripojenia, In: Časopis EE, VOL 18. NO 5/S, 2012, str. 5-9- ISSN 1335-2547str. 5-9
14. **ADAMKO, D.** – ORGOŇ, M.: Riadenie prevádzky domácich bezdrôtových sietí, In: Časopis pre elektrotechniku, energetiku, informačné a komunikačné technológie, Vol. 19, No. 5/S, 2013, str. 221-223, ISSN 1335-2547

Účast' autora na výskumných projektoch

- [1] VEGA - 1/0565/09 - Modelovanie prevádzkových parametrov v NGN telekomunikačných systémoch a sieťach. (2009-2011), I. Baroňák
- [2] Projekt ITMS 26240120005 "Support for Building of Centre of Excellence for SMART technologies, systems and services".
- [3] Projekt ITMS 26240120029 "Support for Building of Centre of Excellence for SMART technologies, systems and services II".