

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

Ing. Pavel Vajsar

SMĚROVACÍ PROTOKOL PRO SÍTĚ MANET ZOHLEDŇUJÍCÍ POŽADAVKY NA KVALITU SLUŽEB

MANET ROUTING PROTOCOL WITH QUALITY OF
SERVICE SUPPORT

ZKRÁCENÁ VERZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Obor: Teleinformatika

Školitel: doc. Ing. Jaroslav Koton, Ph.D.

Oponenti:

Datum obhajoby:

KLÍČOVÁ SLOVA

Subjektivní vnímání, mobilní síť, webové služby, klíčové indikátory, hodnocení, predikce, model

KEYWORDS

Quality of Experience, mobile network, web services, key performance indicator, assessment, prediction, model

Disertační práce je k dispozici na Vědeckém oddělení děkanátu FEKT VUT v Brně, Technická 10, Brno, 616 00

© Vajsar Pavel, 2014

ISBN 80-214-

ISSN 1213-4198

OBSAH

Úvod	5
1 Stručný úvod do současného stavu řešené problematiky	6
1.1 Hodnocení z pohledu akceptability	7
1.2 Zvolení základní metody pro testování	7
2 Metodika pro testování subjektivního vnímání kvality	8
2.1 Obsah určený pro testy	8
2.2 Způsob hodnocení jednotlivých testů	9
2.3 Sestavení jednotlivých testů a scénářů	9
2.4 Profil skupiny účastníků	10
3 Analýza dat získaných z hodnocení pro notebook	11
4 Analýza dat získaných z hodnocení pro mobilní zařízení	12
5 Určení prahů kvality MOS a bodů saturace kvality	14
6 Predikce vnímání kvality a akceptability	15
6.1 Návrh predikčních modelů	15
6.2 Parametry a hodnocení predikčních modelů	17
6.3 Přesnost a struktura predikčních modelů	18
6.4 Zhodnocení predikčních modelů	21
7 Závěr	22
Literatura	23
Literatura	25
Seznam publikací autora práce	25

ÚVOD

Oblast mobilních telekomunikací a obzvláště pak koncových zařízení určených pro telekomunikační účely prochází nepřetržitým růstem. Ten je dán nejen stále zvyšujícím se výkonem koncových zařízení, ale i požadavky na přenos stále rostoucího objemu dat. Koncová mobilní zařízení již dávno nejsou pouze terminály pro uskutečnění telefonního hovoru, ale jsou to již plnohodnotná multimediální zařízení s vysokým výkonem. Vezmeme-li do úvahy takovéto zařízení s aktivní službou mobilního internetu, tak je patrné, že při využití možností, které dané zařízení nabízí lze přenést několika násobně více datového provozu než tomu bylo doposud. Jestliže tento fakt umocníme tím, že poskytovatele mobilních telekomunikačních služeb dále nabízejí zařízení s vloženou SIM kartou, skrze které se lze připojit do sítě Internet prostřednictvím počítače, tak lze očekávat, že objem datové provozu v těchto sítích rychle roste [3]. Tento fakt je výzvou pro poskytovatele mobilních telekomunikačních služeb a pro celý telekomunikační trh. Zároveň tento fakt představuje vysoké náklady na modernizaci a zvýšení kapacity stávajících mobilních sítí. Nejedná se pouze o zvyšování pokrytí, ale i o investici a nasazení nových technologií. Na druhé straně stojí jejich návratnost. Je tedy nutné zvolit kompromis mezi investicemi a dopadem na koncové uživatele. Jestliže investice do rozvoje sítě jsou z pohledu poskytovatele nízké, tak se tento fakt dříve či později projeví na nespokojenosti koncových uživatelů. Naopak vysoké investice sice zaručí určitou míru spokojenosti, ale prodlouží návratnost a případný zisk z investic. Mezi těmito dvěma póly je nutné nalézt kompromis, který zaručí návratovost těchto investic a zároveň určitou míru spokojenosti koncových uživatelů (zákazníků). Z toho důvodu začíná být "Subjektivní vnímání kvality" neboli zkráceně QoE z anglického názvu "Quality of Experince" diskutovaný a rozšířený pojem jak v oblasti výzkumu, tak i v oblasti zájmu poskytovatelů mobilních telekomunikačních služeb. Hodnocení subjektivního vnímání kvality pomáhá najít kompromis mezi vynaloženými investicemi do síťové infrastruktury a mírou spokojenosti koncových uživatelů. Tato práce je výsledkem spolupráce mezi poskytovatelem telekomunikačních služeb a univerzitou, jejímž cílem je vyhodnotit subjektivní vnímání kvality koncových uživatelů na různé typy služeb a na různý obsah. Mezi cílené služby byly zařazeny webové služby, stahování souborů různé velikosti do koncového zařízení, nahrání souborů na server a dále sledování online videa a vysílání [3]. Každá z těchto oblastí má svá specifika. Tato práce se zabývá pouze hodnocením subjektivního vnímání kvality pro webové služby. Jednotlivé testy jsou zaměřeny na subjektivní vnímání webové služby s určitými parametry, kde jako výstupní hodnota pro následné vyhodnocení výsledků byla zvolena stupnice MOS v rozsahu od 1 do 5. Jako další měřitelný parametr bylo navrženo hodnocení akceptability, která značí ochotu koncového uživatele službu s takovými parametry využívat i v běžném denním životě a případně za službu platit. Akceptabilita představuje z pohledu hodnocení subjektivního vnímání kvality rozšíření pro všechny doposud používané metody v této oblasti. Výsledkem provedených měření je rozsáhlá množina dat. Další navazující část této práce se zabývá analýzou těchto dat a jejich vyhodnocením. Jelikož je prostředí telekomunikačních technologií a služeb velice dynamické a rychle se mění, tak se poslední část této práce zabývá návrhem modelů pro predikci hodnot MOS a akceptability na základě známých (změřených) vstupních hodnot dostupné šířky pásma ¹ a počátečního zpoždění i pro hodnoty, pro které nebylo reálné měření provedeno. Tím se prodlužuje aktuálnost provedeného výzkumu v této oblasti. Měření, navržená metodika, počet osob a množství získaných dat jsou v oblasti testování subjektivního vnímání kvality unikátní. Tento fakt podtrhuje i zpětná vazba z významných mezinárodních konferencí. V roce 2013 byla část této práce prezentována na konferenci IEEE Globecom v Atlantě ve Spojených státech [2]. Další část této práce byla následně prezentována na konferenci IEEE International Conference on Communications (ICC) v Sydney v Austrálii [1].

¹Pojem dostupná šířka pásma je použit v následujícím textu a pro digitální telekomunikační systémy vyjadřuje maximální propustnost sítě v daný okamžik v bitech za sekundu.

1 STRUČNÝ ÚVOD DO SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Označení QoE je zkratkou z anglického výrazu Quality of Experience, což lze doslovně přeložit jako "kvalita zážitku". Doslovný překlad v tomto případě není zcela vypovídající, a proto je vhodné použít český ekvivalent "subjektivní vnímání kvality". Subjektivní vnímání kvality může být hodnoceno na stupnici MOS a vyjadřuje hodnocení dané služby z pohledu koncového uživatele, neboli člověka, který danou službu využívá. Nejedná se o objektivní parametr, který hodnotí službu na základě specifikovatelných parametrů, ale o to, jak na konkrétního člověka působí konkrétní služba. Základní metody používané v této oblasti již existují řadu let. Doporučení ITU-T Rec. dávají základ pro tuto oblast. Doporučení jsou již stará několik let a jsou určena pro systémy a zařízení, která byla dostupná v té době. Z tohoto důvodu již doporučení nejsou zcela použitelná pro dnešní prostředí telekomunikačních sítí. Stejně jako tato práce, tak i ostatní související práce můžou tyto doporučení považovat za základ, který může být dále modifikován pro konkrétní potřeby. Subjektivní hodnocení může být aplikováno na různé typy služeb, ať jsou to webové služby, neboli přenos dat z webového serveru do prohlížeče, nebo stahování souborů, tak třeba i online sledování videa. Dále záleží na síťovém prostředí, ve kterém dochází k přenosu dat pro jednotlivé služby. Mezi tato prostředí například patří různé typy přenosových sítí, které lze obecně rozdělit na pevné drátové sítě a bezdrátové sítě případně mobilní sítě. Zde tedy existuje několik možných kombinací v podobě obsah versus prostředí. Tím vzniká rozsáhlá oblast souvisejících prací pro hodnocení subjektivního vnímání kvality. Zkratka QoE bývá v některých případech spojována s QoS (Quality of Service - QoS), které spolu částečně souvisejí. Jak již bylo řečeno, tak QoE reprezentuje čistě subjektivní hodnocení z perspektivy uživatele, neboli osoby využívající daný typ služby. Hodnocení QoE se nebere jako objektivní (měřitelný) parametr, který určuje parametry služby nebo systému jako celku, ale závisí na řadě faktorů, které ovlivňují výsledné vnímání. Jako příklad lze uvést doporučení ITU-R Rec E.800 [10], které poskytuje obecný přehled, jak různé faktory mohou ovlivňovat hodnocení subjektivního vnímání kvality služby v oblasti telekomunikací z pohledu dostupnosti a spolehlivosti služby. Například již zmíněná dostupnost a spolehlivost představuje objektivní parametry služby a souvisí s dílčími stavy sítě, které lze objektivně vyjádřit (změřit). Tato oblast objektivních parametrů spadá právě do oblasti hodnocení kvality služby (Quality of Service - QoS). Mezi objektivní parametry lze dále zařadit například vyjádření ztrátovosti paketů v síti hodnotou PER (Packet Error Rate), zpoždění, čas potřebný pro navázání spojení, atd. Hodnocení kvality služby prostřednictvím objektivních parametrů ale nedává přímé informace o subjektivním vnímání služby jako celku koncovým uživatelem [12], [6].

Hodnocení subjektivního vnímání kvality vychází z kvalitativního vyhodnocení telekomunikačního systému a aplikací jako celku, který přesahuje hodnocení systému pouze na základě jeho dílčích objektivních vlastností, které jsou využívány zejména pro definici hodnocení obecné kvality služby. Hodnocení subjektivního vnímání jde dál, směrem ke koncovému uživateli a odráží celkovou "uživatelskou spokojenost" [8], [12]. Cílem této práce je získat výsledky subjektivního vnímání kvality webových služeb v prostředí mobilní sítě. Současných technologií používaných pro mobilní komunikaci existuje několik řešení (GSM, UMTS, LTE), které ve svém základu poskytují koncovému uživateli stejnou službu, ale proces poskytování této služby je odlišný. Z pohledu hodnocení kvality není důležité, které z těchto řešení je použito, ale je důležité jak je příslušný obsah doručen koncovému uživateli. S jakou kvalitou, rychlostí a v jaké formě. Od tohoto se následně odvíjí vnímání služby koncovým uživatelem. Přístup k webovým službám je běžnou aktivitou využívání internetového připojení. Z tohoto důvodu je důležitá rychlost doručení požadovaného obsahu. Z pohledu objektivní analýzy doby doručení obsahu lze použít QoS parametry, které definují vlastnosti přenosové cesty. Tyto parametry mají následně vliv na subjektivní hodnocení [5]. Spolu s přístupem k webovým službám patří mezi další významné využívání připojení zejména stahování a nahrávání souborů a prohlížení online videa. Ranné studie, které se zabývaly QoE využívaly pro vyhodnocení pouze tříbodovou stupnici [2], [19], kterou vyjadřovaly subjektivní spokojenost koncových uživatelů. Pozdější studie vycházely z tohoto tříbodového hodnocení, které rozšířily o další dva body a tím vznikla pětibodová stupnice MOS [22], [11]. Nejnovější práce v této oblasti [9], [25],

[13] již využívají pro vyhodnocení výsledků MOS stupnici. Pro získání výsledků je nutné zvolit metodu, která zaručí určitou míru věrohodnosti a další využitelnosti výsledků. Nejnovější studie, jako je např. [7], popisují využití modifikované metody ACR, která byla původně navržena pro subjektivní hodnocení služeb založených na přenosu hlasu a videa. Pro tento účel bylo dále přijato doporučením ITU-T Rec. E.800 [10], které definuje metody pro hodnocení služeb založených na protokolu IP.

Metody popsané v ITU-T doporučeních jsou založeny na přímém hodnocení od koncového uživatele. Dále existují metody, které k získání požadovaných výsledků přistupují odlišným způsobem a to na základě určení hodnoty, které je provedeno z objektivních parametrů sítě. Výzkumné práce [16] [17] uvádějí, jak získat vztah mezi subjektivním hodnocením (QoE) a objektivními parametry sítě (QoS). Diskutabilní je přesnost získané vazby, která nemusí být použitelná pro různé typy obsahu a podmínky v síti. Pro testování subjektivního vnímání kvality se ve velké míře využívalo laboratorní prostředí, kde ITU-T doporučení specifikují parametry tohoto prostředí [9], [10]. Testy provedené v laboratorních podmínkách omezují vliv konkrétního prostředí a mohou mít tak dopad na celkové hodnocení. V reálném prostředí může na koncového uživatele působit několik dalších vlivů prostředí v daný okamžik. Tento fakt je ověřen ve smyslu, že je důležité, aby účastník byl v prostředí, které nejvíce odpovídá jeho dennímu životu. Tím lze dosáhnout více přesného hodnocení [18], [23], [24]. Dále výsledky uvedené v [21] ukazují rozdíly v hodnocení pro účastníky, kteří testy prováděli v laboratorních podmínkách a pro účastníky, kteří testy prováděli mimo laboratorní podmínky. Pro všechny metody je společné to, že je nutné provádět testy v prostředí, které je kontrolovatelné a nedochází v něm k nepředvídatelným jevům, které by ovlivnily hodnocení. Dále je nutné pro testování zajistit takové vybavení, které odpovídá parametrům dostupných zařízení a služeb používaných v reálné síti [4].

1.1 Hodnocení z pohledu akceptability

Stupnice MOS dává ve většině případů postačující ohodnocení systému z pohledu subjektivního vnímání. Na základě analýzy v oblasti hodnocení bylo zjištěno, že MOS hodnocení není zcela dostačující pro určení toho, zda by účastník, který se s takovou službou setkal v průběhu testování, byl ochoten takový typ služby používat v běžném každodenním životě. Vysoká hodnota MOS během hodnocení nemusí zcela jasně vypovídat o tomto faktu. Z pohledu poskytovatele služby není pak zcela jasné k jaké hodnotě MOS by měl systém směřovat, aby si zajistil určitý počet zákazníků pro danou službu. Z toho důvodu byla dále naržena stupnice pro hodnocení akceptability.

Stupnice pro hodnocení akceptability je ve své podstatě velice jednoduchá a obsahuje pouze dvě hodnoty a to "Ano" nebo "Ne". Hodnota "ano" vyjadřuje spokojenost z pohledu uživatele se službou s ohledem na to, zda by za tuto službu platil. Naopak hodnota "ne" vyjadřuje nespokojenost. Akceptabilita souvisí se subjektivním vnímáním kvality. V případě služby s kvalitními parametry, to je s dostatečnou šířkou pásma a nízkým zpožděním roste hodnocení MOS a tím se i zvyšuje počet koncových uživatelů, kteří by byli ochotni službu využívat v každodenním životě a tomuto odpovídá akceptabilita. Pro poskytovatele je to velice důležitá informace pro optimalizaci sítě a zajištění tak potřebných parametrů sítě, aby nedocházelo k nežádoucímu faktoru z pohledu poskytovatele, což je ubývání zákazníků. Z toho pohledu je pro poskytovatele mobilních služeb hodnocení na základě akceptability důležitým ukazatelem, který pomáhá určit procento spokojených zákazníků ve spojení s hodnotou MOS. V případě zavedení hodnocení na základě akceptability se jedná o nový a rozšířený přístup, který nebyl doposud publikován a není obsažen v žádném z ITU-T doporučení a který dává získaným výsledkům další rozměr.

1.2 Zvolení základní metody pro testování

Dostupné metody, které jsou definované pro testování jsou ACR, DCR a PC. Jednotlivé metody jsou dostupné pro hodnocení subjektivního vnímání určitého typu obsahu. Všechny tyto metody jsou definovány v doporučení ITU-T Rec. P.910 [13]. Jako základ pro další práci byla zvolena metoda ACR (Absolute Category Rating) a

to z několika důvodů. Výsledkem hodnocení za použití této metody jsou přímo hodnoty MOS, což je výhodné hlavně z pohledu konečného vyhodnocení výsledků. Tyto výsledky již odpovídají měřitelné stupnici a není nutný žádný další přepočet, jako je tomu u metody PC (Pair Comparison). V porovnání s metodou DCR (Degradation Category Rating) je metoda ACR méně časově náročná, z důvodu že účastníkovi testu není zobrazován referenční obsah. Výhodou je, že za stejný čas může být testováno větší množství dílčích testů a získán tak větší počet výsledků pro shodnou skupinu účastníků testování. Z pohledu přesnosti metody je důležité vhodně zvolit posloupnost jednotlivých testů uvnitř každého testovacího scénáře a každý dílčí test několikrát opakovat. S tím, že by konkrétní test měl vždy následovat po testu s rozdílnou kvalitou, tzn. že jednou konkrétní test následuje po testu s lepší kvalitou a následně po testu s horší kvalitou. Tímto postupem lze eliminovat chybu, která může za použití této metody vznikat. Z pohledu implementace v prostředí emulátoru webových služeb, kde se provádějí jednotlivé testy, se tato metoda dále jeví jako výhodná z pohledu algoritmické náročnosti a času potřebného pro implementaci metody.

2 METODIKA PRO TESTOVÁNÍ SUBJEKTIVNÍHO VNÍMÁNÍ KVALITY

Následující kapitola popisuje metodiku, která byla navržena pro hodnocení subjektivního vnímání kvality služby (QoE). Navržená metodika musí splňovat několik důležitých bodů pro úspěšné vyhodnocení výsledků. Prvním z těchto bodů je, že musí být použitelná pro celý rozsah navržených testovacích scénářů a dílčích testů. To znamená, že každý test musí být proveditelný za dodržení všech podmínek metodiky. Metodika musí brát v úvahu širokou škálu faktorů, které by mohly ovlivnit průběh testování a mohly by mít dopad na výsledky jednotlivých testů. Je nutné tyto faktory analyzovat a věnovat jim zvýšenou pozornost, aby byly vždy zajištěny konzistentní podmínky. Metodika musí dále definovat způsob hodnocení pro získání měřitelných výsledků a postup pro vyhodnocení a stanovení závěrů z měření. Použitá metodika pro hodnocení QoE vychází z doporučení ITU-T Rec. P.910 [13]. Toto doporučení poskytuje základ pro návrh metodiky testování webových služeb. Navržená metodika z toho doporučení přebírá metodu hodnocení ACR (Absolute Category Rating) [13] a metody pro určení prahu spokojenosti. Pro kvantitativní určení míry spokojenosti je použita stupnice MOS.

2.1 Obsah určený pro testy

Volba obsahu pro jednotlivé testy byla založena na informacích získaných z nástroje pro monitoring nejnavštěvovanějších webových služeb [1]. Byly zvoleny služby, kde každá z těchto služeb má rozdílný typ obsahu. Pro testování subjektivního vnímání kvality služby byly zvoleny tři webové servery a jak je vidět v následující tabulce 2.1, tak mají řádově rozdílnou velikost úvodní stránky s obsahem.

Tab. 2.1: Velikost webových služeb

Název	Adresa	Typ	Velikost [kB]
iDnes	http://www.idnes.cz	zpravodajství	518
Aukro	http://www.aukro.cz	prodej	145
Facebook	http://www.facebook.com	sociální síť	0.89

2.2 Způsob hodnocení jednotlivých testů

Hodnocení jednotlivých testů vychází z metody ACR (Absolute Category Rating). Hodnocení probíhá tak, že testovaný obsah je zobrazen jednou a následně je hodnocen, teprve poté dochází k zobrazení dalšího obsahu pro hodnocení. Informace o způsobu hodnocení jsou účastníkům vždy předány před začátkem hodnocení. Tyto informace předává moderátor, který je přítomný v průběhu celého hodnocení. Odpovědi jsou automaticky ukládány do centrálního databázového systému. Rozhraní pro hodnocení má několik částí a průběh každého hodnocení je přesně definovaný. Doba testování každého účastníka byla zvolena na 30 minut. Tato doba byla zvolena na základě prvních testů, kdy bylo zjištěno, že během této doby je účastník na hodnocení soustředěn. Pro dobu vyšší než uvedených 30 minut soustředěnost klesá a výsledky hodnocení přestávají mít konzistentní charakter. Jednotlivé dílčí testy již nejsou časově omezené a záleží na účastníkovi, jak dlouho bude konkrétní test provádět. Záleží i na jeho trpělivosti pro scénáře s nízkou dostupnou šířkou pásma, kdy se webový obsah načítá pomalu. Zde záleží na účastníkovi, zda bude čekat, až se celý obsah načte, nebo zda ukončí test tím, že zavře záložku s webovým obsahem, test ohodnotí a přejde k dalšímu.

2.3 Sestavení jednotlivých testů a scénářů

Scénář definuje sadu, ve které je obsaženo několik testů. Z pravidla je to 26 nebo 27 testů v jednom testovacím scénáři. Účastník testu začíná testovat scénář a během této doby může otestovat všechny testy v daném scénáři ještě před uplynutím stanovené doby pro testování (30 minut). V tomto případě dojde automaticky na pozadí k načtení dalšího testovacího scénáře a pokračuje se v testování až do vypršení časového limitu určeného pro test. V opačném případě se může stát, že účastník nestihne otestovat všechny testy v daném scénáři a tento scénář je následně označen v systému pro hodnocení jako nekompletní. V prostředí centrálního databázového systému dochází průběžně ke kontrole a následně jsou sestaveny nové scénáře, ve kterých jsou obsaženy testy, které se nepodařilo dokončit v předešlých testováních, aby se docílilo toho, že každý test bude otestován tolikrát, kolik je požadováno. Jednotlivé testy a scénáře byly sestaveny s ohledem na typ zařízení, typ obsahu a příslušné síťové parametry.

- Typ zařízení:
 - Notebook,
 - mobilní zařízení (smartphone).
- Typ webového obsahu:
 - Zpravodajství (idnes.cz),
 - sociální síť (facebook.com),
 - internetové nakupování (aukro.cz)
- Síťové parametry:
 - Šířka pásma (různá pro každý test),
 - Počáteční zpoždění sestavení spojení mezi klientem a serverem (konečné, nekonečné skončící vypršením časovače a chybovou stránkou, chyba načítání).

Scénáře sestavené pro testování webových služeb byly stejné pro obě zařízení (notebook i mobilní zařízení). Jako počáteční zpoždění bylo definováno několik hodnot, kterých může počáteční zpoždění nabývat (0 s, 1 s, 3 s, 5 s, 7 s, 11s). Jelikož je několik definovaných zpoždění a několik definovaných hodnot šířky pásma (32 kbps, 64 kbps, 128 kbps, 256 kbps, 512 kbps, 1024 kbps), tak by mohlo vzniknout velké množství různých kombinací, z tohoto důvodu byly kombinace voleny následujícím způsobem:

- Pro zpoždění 0s bylo provedeno 20 jednotlivých hodnocení pro každý webový obsah pro všechny šířky pásma:

$$\text{Hodnocení} * \text{šířkapásma} * \text{obsah} * \text{zpoždění} = 20 * 6 * 3 * 1 = 360 \quad (2.1)$$

- Pro zpoždění 1, 5 a 11s bylo provedeno 15 jednotlivých hodnocení pro každý webový obsah a pro šířky pásma 32, 128 a 512 kbps:

$$\text{Hodnocení} * \text{šířkapásma} * \text{obsah} * \text{zpoždění} = 15 * 3 * 3 * 3 = 405 \quad (2.2)$$

- Pro zpoždění 3 a 7s bylo provedeno 15 jednotlivých hodnocení pro každý webový obsah a pro šířky pásma 64, 256 a 1024 kbps:

$$\text{Hodnocení} * \text{šířkapásma} * \text{obsah} * \text{zpoždění} = 15 * 3 * 3 * 2 = 270 \quad (2.3)$$

- Pro zpoždění nekonečno sekund a pro chybu načítání webového obsahu bylo definováno 40 testů. Pro zpoždění nekonečno sekund bylo definováno 20 testů, které byly rovnoměrně rozloženy mezi jednotlivé typy webového obsahu. Pro zpoždění ukončené chybou načítání bylo definováno dalších 20 testů, kterým odpovídala nejnižší přenosová rychlost.

Pro hodnocení subjektivního vnímání kvality webových služeb bylo tedy definováno **1075** jednotlivých testů. Jelikož se hodnocení provádí na dvou různých koncových zařízeních, tak celkový počet jednotlivých testů je **2150**. Tyto testy byly následně rozděleny do skupin, které odpovídají jednotlivých scénářům.

2.4 Profil skupiny účastníků

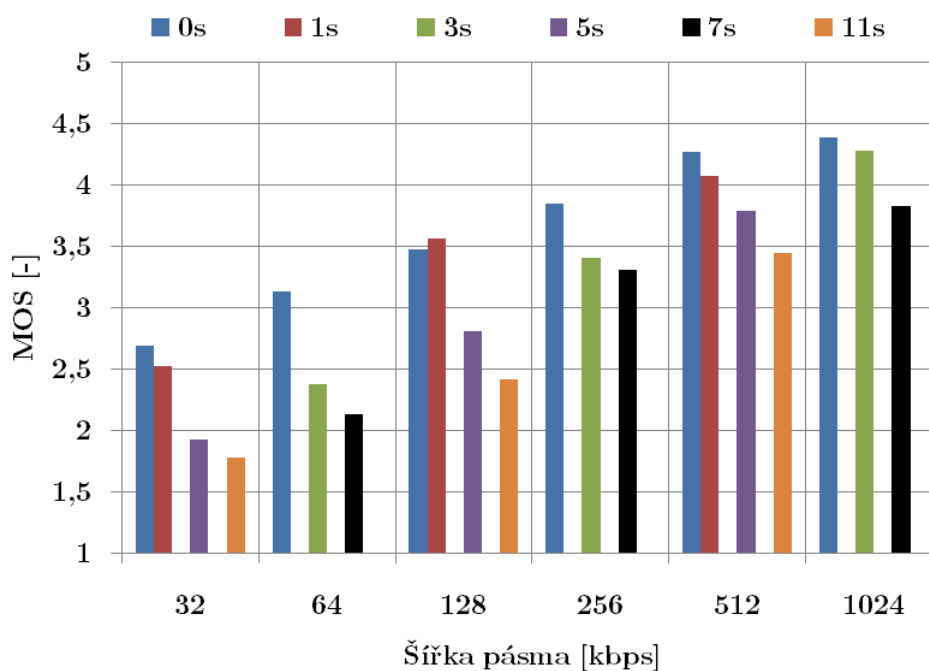
Při výběru jednotlivých osob do skupiny bylo v první řadě cíleno na studenty, kterým byla nabídnuta účast na testování v rámci projektu probíhajícího na univerzitě. Jejich studium je technicky zaměřeno, a proto mají mnohem více zkušeností s tímto typem technologií. Tento fakt zaručuje, že jednotlivé testy prováděné studenty dávají přesné a více kritické výsledky. Pro poskytovatele mobilních telekomunikačních služeb tvoří tak nejvíce kritickou skupinu zákazníků. Z důvodu účasti velkého počtu studentů na testování byl tak pokryt nejhorší možný scénář z pohledu náročného zákazníka. Jelikož bylo žádoucí, aby se testů zúčastnili i lidé, kteří nepocházejí z řad studentů, tak byl vytvořen systém veřejné poptávky, který měl přilákat jednotlivé účastníky testování z řad lidí mimo univerzitu. Poptávka po těchto potenciálních účastnících probíhala formou nabídky na veřejných serverech a za účast na testování byla každému účastníkovi vyplacena menší odměna z rozpočtu projektu. Celkový počet účastníků, který se ve finále podílel na testování byl 194, což představuje velkou skupinu a tím i velké množství získaných dat pro analýzu. Účastníci byli dále rozděleny podle toho, jestli prováděli testování na notebooku, nebo na mobilním zařízení. Profil této skupiny je zobrazen v následující tabulce 2.2. Z rozdělení je patrné, že ze 194 účastníků jich hodnotila více než polovina na mobilním zařízení. Toto rozdělení je dáno tím, že mobilní zařízení s aktivní datovou službou se stávají v poslední době velice populární. Z tohoto důvodu byla větší skupina určena pro mobilní zařízení. Dále ve skupině převládají studenti, kteří tyto technologie využívají v denním životě. Nízký věkový průměr byl dán tím, že větší část ze všech účastníků je z řad studentů. Dále je také patrné, že velká část z účastníků využívá mobilní služby formou paušálu oproti menší skupině využívající předplacenou službu. Z pohledu velikosti skupiny se v tomto případě jedná o unikátní testování. Publikace zabývající se QoE, která je dále zaměřena na porovnání výsledků získaných v laboratoři s výsledky z reálného prostředí popisuje tři studie. Pro každou studii byla zvolena skupina osob o velikosti 26, 32 a 17 osob s věkovým průměrem do 35.42 let [24]. Publikace zabývající se vlivem zpoždění a doby čekání na požadovaný obsah v mobilních sítích použila pro testy skupinu o 51 lidech [28]. Publikace, která je zaměřena na analýzu vlivu zpoždění během načítání webového obsahu provedla testy se skupinou o 25 lidech [26]. Počet osob v uvedených příkladech je několikanásobně nižší, což dokazuje rozsah provedených testů.

Tab. 2.2: Profil skupiny účastníků

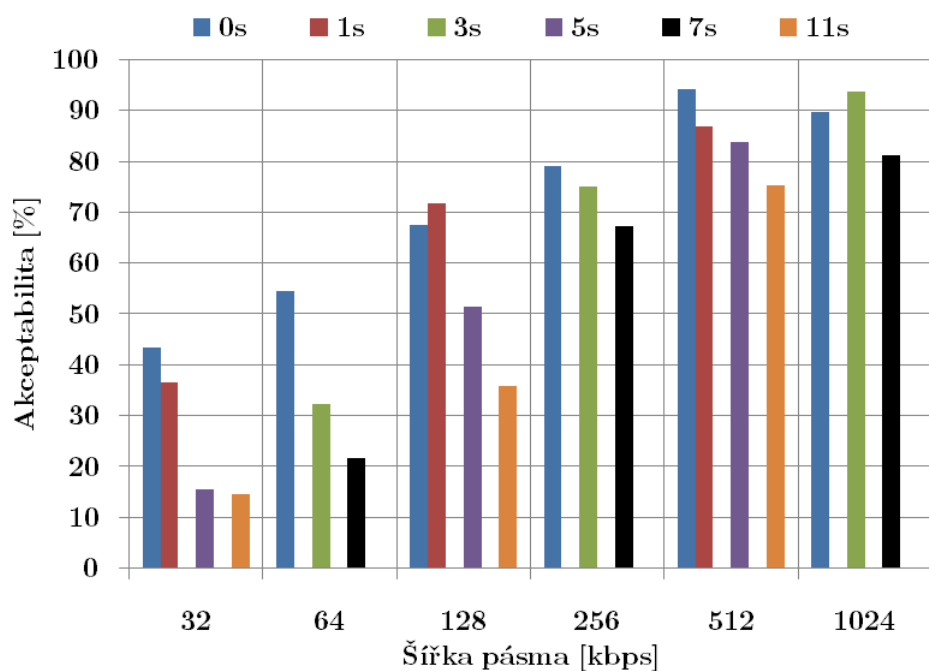
	Notebook	Mobilní zařízení (smartphone)
Věk	23,15 (min: 18, max: 31)	22,51 (min: 17, max: 46)
Pohlaví	14 žen, 72 mužů	26 žen, 82 mužů
Skupina	61 studentů, 25 placených	82 studentů, 26 placených
Status	25 pracujících, 61 studentů	26 pracujících, 82 studentů
Vzdělání	35 středoškolské, 51 vysokoškolské	60 středoškolské, 48 vysokoškolské
Typ mobilního zařízení	34 klasický, 52 smartphone	50 klasický, 58 smartphone
Typ služby	18 O2 paušál, 5 O2 kredit, 25 Vodafone paušál, 6 Vodafone kredit, 16 T-Mobile paušál, 6 T-Mobile kredit	25 O2 paušál, 5 O2 kredit, 17 Vodafone paušál, 18 Vodafone kredit, 28 T-Mobile paušál, 11 T-Mobile kredit

3 ANALÝZA DAT ZÍSKANÝCH Z HODNOCENÍ PRO NOTEBOOK

Graf 3.1 zobrazuje průběh hodnocení kvality pro jednotlivé rychlosti a počáteční zpoždění. V grafu je na vodorovné ose zobrazena dostupná šířka pásma a na vertikální ose hodnocení kvality na stupnici MOS od jedné až do pěti. Pro každou dostupnou šířku pásma je zobrazeno několik průběhů, které odpovídají příslušným zpožděním. Z uvedeného grafu je patrný konzistentní růst pro vzrůstající dostupnou šířku pásma. Zároveň je zde patrné, že pro vzrůstající počáteční zpoždění pro návázání spojení mezi klientem a serverem klesá hodnocení subjektivního vnímání kvality. Na nižších přenosových rychlostech toto zpoždění také způsobuje větší rozptyl v hodnocení MOS, viz rychlosti 32, 64 a 128 kbps v 3.1. Pro vyšší rychlosti je rozptyl hodnot MOS menší. Zde se projevilo subjektivní vnímání dostupné šířky pásma, kdy pro vyšší šířku pásma dochází k rychlejšímu načtení webového obsahu a tím dochází k lepšímu ohodnocení, než v případě nižších rychlostí. Drobná nekonzistence je patrná pro šířku pásma 128 kbps, kde hodnocení vychází nepatrně lépe pro počáteční zpoždění 1s než pro počáteční zpoždění 0s. Tento rozdíl je pro výsledné hodnocení téměř zanedbatelný a nemá vliv na stanovení závěrů z testování. Rozdíl je 0,09 MOS, což je velice nízká hodnota a může být dán tím, že zpoždění 1s je pro účastníka testování v některých případech nerozeznatelné. Další důležitou informací získanou z grafu 3.1 je saturace hodnoty MOS, což je hodnota šířky pásma, pro kterou dosáhne MOS svého maxima a již se dále nezvyšuje. V tomto případě lze jako hodnotu saturace zvolit 512 kbps pro počáteční zpoždění 0s. Tomuto bodu odpovídá hodnota 4.27 MOS. Hodnocení akceptability zobrazené v grafu 3.2 má rovněž konzistentní charakter s výjimkou, kde vykazuje mírně lepší hodnocení akceptability pro počáteční zpoždění mezi klientem a serverem pro 1s oproti 0s pro šířku pásma 128 kbps a 1024 kbps. Opět se jedná o zanedbatelnou odchylku, která nemá vliv na výsledný charakter. Akceptabilita téměř 90% a více pro šířku pásma 512 kbps a počáteční zpoždění 0s odpovídá bodu saturace, který je patrný pro výsledky hodnocení v grafu 3.1.



Obr. 3.1: Celkové hodnocení kvality webové služby (různá počáteční zpoždění).

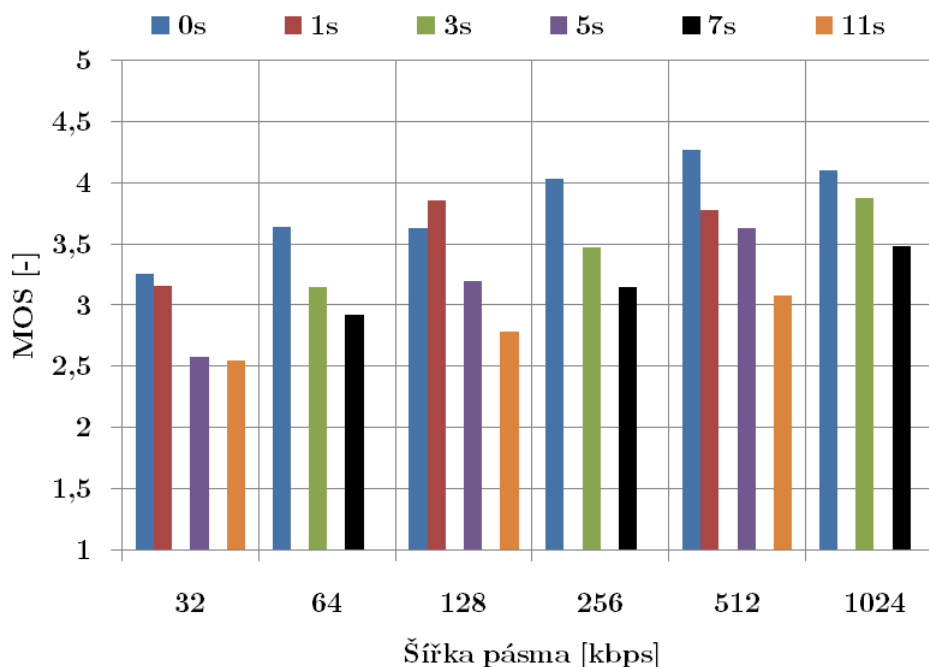


Obr. 3.2: Celkové hodnocení akceptability webové služby (různá počáteční zpoždění).

4 ANALÝZA DAT ZÍSKANÝCH Z HODNOCENÍ PRO MOBILNÍ ZAŘÍZENÍ

V následující kapitole jsou uvedeny výsledky z hodnocení jednotlivých testů pro hodnocení na mobilním zařízení. Výsledky jsou opět zaměřené na hodnocení kvality a na hodnocení akceptability. Z pohledu hodnocení představuje mobilní zařízení zcela odlišný typ zařízení, než je notebook. Pro některé z účastníků to může být

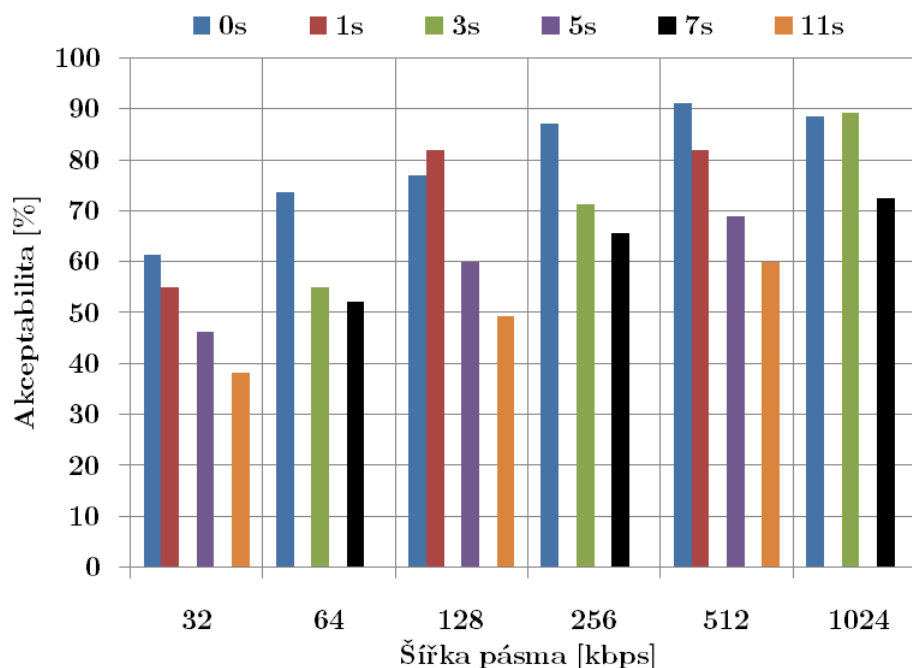
zcela nový typ zařízení, se kterým se blíže setkali až v rámci testování, viz výsledky získané z dotazníků popsané v kapitole 2.4. Tabulka 2.2 dává informace o tom, kolik z účastníků vlastní chytré mobilní zařízení (smartphone) a kolik pouze klasické mobilní zařízení bez operačního systému a dotykového displeje. V dotazníku 84 účastníků uvedlo, že vlastní pouze klasický typ mobilního zařízení. Kvalita bude v následujícím textu, stejně jako v předchozím textu, označena jako MOS a akceptabilita opět vyjadřuje "spokojenost" účastníka s testovanou službou ve smyslu toho, zda by byl ochoten si takovou službu zaplatit.



Obr. 4.1: Celkové hodnocení kvality pro scénář webové služby (různá počáteční zpoždění).

Graf 4.1 znázorňuje závislost MOS na dostupné šířce pásma a počátečním zpoždění mezi navázáním spojení mezi klientem a serverem. V grafu je vidět celková závislost, bez rozlišení konkrétní služby. Jestliže dochází ke zvyšování hodnoty dostupné šířky pásma, tak roste hodnota výsledného celkového hodnocení. V případě, že dochází ke zvýšení hodnoty počátečního zpoždění v rámci každé dostupné šířky pásma, tak naopak výsledné hodnocení klesá. Výjimka je pouze pro dostupnou šířku pásma 128 kbps, kde hodnota MOS pro počáteční zpoždění 1s je lepší než pro zpoždění 0s. Důvod této nekonzistence může být stejný jako v předchozím případě popsaném v kapitole 3.

Pro výsledné hodnoty zobrazené v grafu 4.1 lze určit bod saturace již pro šířku pásma 256 kbps a počáteční zpoždění 0s. Pro následující vyšší hodnotu sice hodnota MOS vzrůstá o 0.23 MOS, ale následně pro dostupnou šířku pásma 1024 kbps opět mírně klesá na hodnotu 4.10 MOS, která již opět téměř odpovídá hodnotě získané pro hodnotu 256 kbps. Rozdíl v MOS hodnocení mezi hodnotami pro 256 kbps a 1024 kbps je pouze 0.07 MOS. Rozdíl je velice malý a lze tedy uvažovat, že hodnota MOS dále prudce neroste a bod saturace je tedy na hodnotě 256 kbps. Graf 4.2 znázorňuje závislost akceptability na dostupné šířce pásma a počátečním zpoždění. Pro rostoucí šířku pásma roste hodnocení MOS a naopak pro rostoucí počáteční zpoždění klesá hodnocení MOS v rámci jedné hodnoty šířky pásma. Výjimka je pouze pro hodnotu 128 kbps, kde hodnota MOS pro počáteční zpoždění 1s je lepší než pro zpoždění 0s.



Obr. 4.2: Celkové hodnocení akceptability pro scénář webové služby (různá počáteční zpoždění).

5 URČENÍ PRAHŮ KVALITY MOS A BODŮ SATURACE KVALITY

Během zpracování výsledků byl potvrzen teoretický fakt, že se zlepšujícími se parametry sítě roste výsledné hodnocení kvality a akceptability. Dalším krokem z pohledu analýzy získaných dat je stanovit hranice, kdy síťové parametry pro webové služby považovat za dobré. K tomuto stanovení je použit bod saturace kvality a určení prahů kvality.

Součástí výše uvedených výsledků bylo i dílčí stanovení bodu saturace kvality jak pro notebook, tak pro mobilní zařízení. Bod saturace odpovídá dostupné šířce pásma pro počáteční zpoždění 0s, od které již dále hodnocení kvality strmě neroste nebo naopak neklesá. Dále byla po diskusi se zástupci poskytovatele mobilních telekomunikačních služeb na území České republiky stanovena hranice akceptability 75 %. Z výše uvedených grafů 3.2 a 4.2, lze pro tuto hranici akceptability stanovit příslušné síťové parametry. Z těchto dvou grafů lze nalézt hodnotu dostupné šířky pásma, která je rovna nebo vyšší než 75 %. Této hodnotě odpovídá první řádek v tabulce 5.1.

Tab. 5.1: Subjektivní práh kvality a saturace kvality

	Notebook	Smartphone
Práh kvality (75%)	256 kbps	128 kbps
Práh kvality MOS	3.85	3.63
Práh saturace	512 kbps	256 kbps

Po odečtení prahu kvality pro hodnotu akceptability 75 % je nutné odečíst příslušnou hodnotu kvality MOS z grafů 3.1 a 4.1. Tato hodnota vyjadřuje skutečnost, že jestliže hodnocený systém bude odpovídat z pohledu kvality této hodnotě MOS, tak bude docíleno toho, že bude 75 % uživatelů s tímto systémem spokojených. Hodnoty MOS nad tyto hranice lze vymezit pro zajištění tzv. prémiové kvality služby. Z pohledu poskytovatele mobilních telekomunikačních služeb to znamená hranice pro dražší služby se zajištěnými určitými parametry

a vysokou mírou spokojenosti koncových uživatelů. Prahy saturace jsou o stupeň výše oproti prahu 75ti % spokojenosti. Tyto prahy tak již spadají do skupiny síťových parametrů pro prémiovou službu. Tyto hodnoty tak mají vypovídající hodnotu pro poskytovatele mobilních služeb, jelikož na základě hodnot uvedených v tabulce 5.1 může provést optimalizaci dostupné šířky pásma. Tím přibližně dosáhne očekávané spokojenosti z pohledu zákazníků.

6 PREDIKCE VNÍMÁNÍ KVALITY A AKCEPTABILITY

Využívání webových služeb v prostředí mobilních sítí neustále roste rychlým tempem. Tento trend potvrzuje studie společnosti Cisco nesoucí název Visual Networking Index (VNI) Global Mobile Data Traffic Forecast for 2011 to 2016 [3]. Lze tedy pozorovat, že trh v oblasti mobilních komunikací a webových služeb je velice dynamický a predikce jeho vývoje v následujících letech je důležitá. Určitá predikce vývoje trhu je pak důležitá pro poskytovatele mobilních služeb. Změny, které musí provádět uvnitř sítě jsou jak časově, tak finančně náročné. Jako příklad lze uvést zprávu vydanou ČTU (Český telekomunikační úřad), která uvádí, že za rok 2012 vzrostly investice do sítí a služeb na hodnotu 14.58 miliard korun bez DPH. Oproti předchozímu roku se jedná o 3% meziroční nárůst. Naopak zisk meziročně klesl o 1.9% [6]. Jestliže by došlo k omezení investic do sítě, tak dříve nebo později by se tato skutečnost ještě více projevila na poklesu zisku poskytovatele mobilních služeb. Došlo by k nerovnováze v oblasti výkonu sítě a požadavcích koncových uživatelů, což by mělo za následek úbytek zákazníků. Z tohoto důvodu je nezbytné stále analyzovat trh, predikovat jeho vývoj a s dostatečným předstihem provádět investice do sítě v takové míře, aby byla vždy zajištěna určitá míra spokojenosti z poledu koncových uživatelů. Práce, která byla doposud v této oblasti provedena a je zde prezentována, odpovídá aktuální situaci v oblasti používaných technologií pro webové služby. Stejně tak zvolené rychlosti a počáteční zpoždění odpovídají parametrům sítě, se kterými se můžeme setkat při běžném používání webových služeb. Z důvodu rychlého rozvoje je aktuálnost těchto výsledků omezená. Proto analýzou získaných dat došlo k následnému návrhu modelů, které jsou schopny na základě vstupních parametrů odhadnout výslednou hodnotu subjektivního vnímání kvality webové služby (MOS) a akceptability. Lze tedy s určitou přesností odhadnout (predikovat) hodnotu MOS a akceptabilitu pro vstupní parametry, které nebyly přímo součástí měření. To dává získaným výsledkům další rozměr [1]. Tato část práce popisuje návrh predikčních modelů, které jsou schopné predikovat hodnotu kvality MOS a hodnotu akceptability. Jako základ pro návrh těchto modelů jsou reálná data získaná z rozsáhlého měření provedeného skupinou lidí o velikosti 194. V současné době v oblasti výzkumu subjektivního vnímání kvality v prostředí mobilních sítí existuje již několik modelů, které jsou ale převážně zaměřeny na vnímání kvality multimediálního obsahu [27], [15]. Některé modely ve svém základu nepoužívají reálná data, ale jsou postaveny pouze na výsledcích získaných ze simulace v některém ze simulačních prostředí (Opnet Modeler a Network Simulator 2) [14]. Následující kapitoly popisují návrh tří predikčních modelů. První dva jsou určeny pro predikci hodnoty MOS zvlášť pro notebook a pro mobilní zařízení. Třetí model je určen pro predikci celkové hodnoty akceptability. V úvodu je definována sada hodnot, která je získána z reálného měření a tvoří základ pro návrh všech tří predikčních modelů. Následuje popis zvolené metody, která je založena na regresní analýze. V další části jsou popsány parametry jednotlivých modelů a jejich hodnocení z pohledu statistické významnosti. V závěru jsou pak uvedeny výsledné modely s hodnocením jejich přesnosti.

6.1 Návrh predikčních modelů

Cílem jednotlivých modelů je predikovat hodnotu *MOS* a akceptability pro vstupní hodnoty, které nebyly součástí reálného měření. Vstupní hodnoty lze nazvat prediktory, nebo nezávislé proměnné. Mezi prediktory, výslednou hodnotou *MOS* a akceptabilitou existuje vazba. Prvním krokem je nalézt tuto vazbu, neboli funkci, která popisuje vliv hodnoty dostupné šířky pásma a počátečního zpoždění na výsledné *MOS* a akceptabilitu. Sada hodnot pro predikční model se skládá z dostupné šířky pásma označené zkratkou *BR*, počátečního zpoždění označené zkratkou *D*, subjektivního hodnocení kvality označené zkratkou *MOS* a akceptability *AKC*. Návrh

modelu je postaven na regresní analýze. Pro nalezení vazby je množina dat rozdělena na množinu pro určení vazby mezi vstupními hodnotami, což jsou BR a D a výstupní hodnotou, což je MOS . Dále na množinu pro určení vazby mezi vstupními hodnotami BR a D a výstupní hodnotou AKC . Sadu hodnot lze definovat následujícím způsobem.

$$Z = \frac{e^{c_0 + c_1 f_1(X_1)}}{1 + e^{c_0 + c_1 f_1(X_1)}} \quad (6.1)$$

Definice 6.1 zaručí, že výsledná hodnota Z bude vždy v intervalu od nuly do jedné. Zajímavou a zároveň důležitou částí definice 6.1 je exponent $c_0 + c_1 f_1(X_1)$, který definuje základní lineární regresní analýzu. Definice v exponentu je uvedena pro nalezení funkce mezi jednou vstupní proměnnou (prediktorem), označenou hodnotou X_1 a jednou výstupní. Hodnoty c_0 a c_1 jsou regresní koeficienty a pro jejich získání je použita metoda nejmenších čtverců. Jestliže provedeme lineární regresi nad více než jedním prediktorem, tak se základní obecný tvar lineární regrese rozšíří.

$$Y = c_0 + c_1 f_1(X_1) + c_2 f_2(X_2) + \dots + c_n f_n(X_n) \quad (6.2)$$

Pro zachování intervalu pro více prediktorů lze logistickou regresi následně definovat jako:

$$Z = \frac{e^{c_0 + c_1 f_1(X_1) + c_2 f_2(X_2) + \dots + c_n f_n(X_n)}}{1 + e^{c_0 + c_1 f_1(X_1) + c_2 f_2(X_2) + \dots + c_n f_n(X_n)}} = \frac{e^Y}{1 + e^Y} \quad (6.3)$$

Jelikož výsledkem 6.3 je hodnota pouze z intervalu od 0 do 1, tak dalším důležitým krokem je normalizace. Normalizace je provedena z důvodu, že výstupní hodnoty MOS a AKC náleží do rozdílného intervalu. Pro hodnotu MOS je to interval od 1 do 5 a pro hodnotu AKC je to interval od 0 do 100. Obecný postup normalizace je definován následujícím způsobem.

$$\frac{X - X_{MIN}}{X_{MAX} - X_{MIN}} \quad (6.4)$$

Interval pro MOS je v rozmezí od a do b a interval pro AKC je v rozmezí od c do d . Lze tedy definovat normované hodnoty MOS a AKC následujícím způsobem.

$$MOS_{NORM} = \frac{MOS - a}{b - a} \quad ; \quad AKC_{NORM} = \frac{AKC - c}{d - c} \quad (6.5)$$

Normované hodnoty získané z 6.5 budou vždy v intervalu od nuly do jedné. Je to tedy stejný interval, jako v případě výsledné hodnoty získané logistickou regresí, která je definována v 6.3. Lze tedy uvažovat, že platí následující pravidlo.

$$MOS_{NORM} = Z \quad ; \quad \frac{MOS - a}{b - a} = \frac{e^Y}{1 + e^Y} \quad (6.6)$$

$$AKC_{NORM} = Z \quad ; \quad \frac{AKC - c}{d - c} = \frac{e^Y}{1 + e^Y} \quad (6.7)$$

Na základě 6.6 a 6.7 lze určit oboustranou vazbu mezi MOS a funkcí Y a mezi AKC a funkcí Y . Jestliže rovnice upravíme do stavu, kdy si pro oba případy vyjádříme MOS a AKC a naopak Y , tak získáme následující vyjádření.

$$Y_{MOS} = \ln\left(\frac{MOS - a}{b - MOS}\right) \quad ; \quad MOS = \frac{a + be^Y}{1 + e^Y} \quad (6.8)$$

$$Y_{AKC} = \ln\left(\frac{AKC - c}{d - AKC}\right) \quad ; \quad AKC = \frac{c + de^Y}{1 + e^Y} \quad (6.9)$$

Definice uvedena v 6.2 dává obecnou formu lineární regrese [20]. Jako další krok, je třeba aplikovat tuto obecnou formu na konkrétní situaci z pohledu získaných hodnot.

$$Y_{MOS} = c_0^{MOS} + c_1^{MOS} f_1(BR) + c_2^{MOS} f_2(D) \quad (6.10)$$

$$Y_{AKC} = c_0^{AKC} + c_1^{AKC} f_1(BR) + c_2^{AKC} f_2(D) \quad (6.11)$$

Cílem je tedy nalézt takové koeficienty, které budou splňovat definici uvedenou výše. Hodnoty Y_{MOS} a Y_{AKC} lze snadno spočítat podle vztahu definovaném 6.8, resp. v 6.9. Tyto hodnoty tvoří výstupní parametry regresní analýzy. Parametry BR a D definují vstupní hodnoty pro regresní analýzu. Pro výpočet jednotlivých koeficientů c_0 , c_1 a c_2 byla použita metoda nejmenších čtverců. Je to základní metoda, která se používá pro výpočet koeficientů regresní analýzy. Výsledkem takového výpočtu je dále i přesnost, neboli vhodnost koeficientů pro danou sadu hodnot. S koeficientem souvisí i použitá funkce, která může být lineární, logaritmická nebo exponenciální. Na základě jednotlivých experimentů bylo zjištěno, že nejlepší výsledky dává použití logaritmické funkce pro hodnotu BR . Hodnocení bylo provedeno na základě hodnoty koeficientu spolehlivosti, kdy za použití logaritmické funkce pro dostupnou šířku pásma byla hodnota tohoto koeficientu nejvyšší.

$$Y_{MOS} = c_0^{MOS} + c_1^{MOS} \ln(BR) + c_2^{MOS}(D) \quad (6.12)$$

$$Y_{AKC} = c_0^{AKC} + c_1^{AKC} \ln(BR) + c_2^{AKC}(D) \quad (6.13)$$

Jestliže vstupními parametry pro lineární regresi byl použit přirozený logaritmus dostupné šířky pásma a dále zpoždění v základním lineárním tvaru, tak výpočet regresních koeficientů dával nejlepší výsledky. Jestliže byla použita jiná kombinace, tak hodnota koeficientu spolehlivosti klesala. Tím klesala i statistická významnost jednotlivých regresních koeficientů.

Po dosazení rovnic uvedených výše (6.12, 6.13) do rovnice 6.8, resp. 6.9 je získána výsledná podoba modelu pro predikci subjektivního vnímání kvality služby (MOS) a akceptability (AKC).

$$MOS = \frac{a + be^Y}{1 + e^Y} = \frac{a + be^{c_0 + c_1 \ln(BR) + c_2(D)}}{1 + e^{c_0 + c_1 \ln(BR) + c_2(D)}} \quad (6.14)$$

$$AKC = \frac{c + de^Y}{1 + e^Y} = \frac{c + de^{c_0 + c_1 \ln(BR) + c_2(D)}}{1 + e^{c_0 + c_1 \ln(BR) + c_2(D)}} \quad (6.15)$$

6.2 Parametry a hodnocení predikčních modelů

Následující podkapitola popisuje získané výsledky pro jednotlivé modely. Z pohledu každého modelu je důležité, jaká sada hodnot je použita pro jeho výpočet. To určuje zda je model spolu s jeho koeficienty statisticky významný nebo nevýznamný. Tabulka 6.1 udává parametry jednotlivých predikčních modelů. Jednotlivé sloupce tabulky symbolizují tři dílčí modely, kde MOS_{MT} je model pro predikci hodnoty MOS pro mobilní zařízení, MOS_{NB} je model pro predikci hodnoty MOS pro notebook a AKC je model pro predikci celkové akceptability. První řádky tabulky obsahují jednotlivé koeficienty regresní analýzy. Tyto koeficienty po dosazení do 6.14, 6.15 slouží pro výpočet jednotlivých modelů v prostředí Matlab.

Jak je vidět z tabulky 6.1, tak hodnota R^2 spolehlivosti pro všechny tři modely je 0.90 a více. Tato hodnota o modelu říká, kolik procent hodnot je dáno predikčním modelem. Pro model predikce MOS pro mobilní zařízení

Tab. 6.1: Koeficienty a parametry pro jednotlivé predikční modely.

Parametr	MOS_{MT}	MOS_{NB}	AKC
c_0	-0.602	-2.712	-2.393
Interval 95%	[-0.986, -0.218]	[-3.08, -2.344]	[-2.952, -1.833]
c_1	0.274	0.65	0.698
Interval 95%	[0.204, 0.344]	[0.582, 0.717]	[0.595, 0.8]
c_2	-0.095	-0.101	-0.125
Interval 95%	[-0.117, -0.073]	[-0.122, -0.08]	[-0.157, -0.093]
R^2 (spolehlivost)	0.90	0.97	0.94
R (Korelační koef.)	0.94	0.98	0.97
Chyba stř. hodnoty	0.18	0.17	0.26
F statistika	78.135	264.385	140.579
Významnost F	1.34e-09	4.54e-14	1.03e-11

je dáno predikčním modelem 90% hodnot, pro model predikce pro notebook je to dokonce 97% hodnot a pro model predikce akceptability to je 94% hodnot. Ve všech třech případech jsou hodnoty spolehlivosti poměrně vysoké, takže lze říci, že jsou všechny tři modely vysoce spolehlivé. Z pohledu modelu jako celku lze analýzou jednotlivých vlastností dojít k závěru, že jednotlivé modely jsou statisticky významné.

Tab. 6.2: Parametry pro jednotlivé koeficienty predikčních modelů.

Koeficient	Parametr	MOS_{MT}	MOS_{NB}	AKC
c_0	T Statistika	-3.296	-15.482	-8.989
	P Hodnota	0.004	7.58-e12	4.48-e08
c_1	T Statistika	8.198	20.259	14.311
	P Hodnota	1.72-e07	7.71-e14	2.82-e11
c_2	T Statistika	-9.146	-10.168	-8.235
	P Hodnota	3.46-e08	6.9-e09	1.62-e07

Další hodnocení modelů se provádí z hlediska jednotlivých koeficientů, konkrétně hodnocení statistické významnosti pro jednotlivé koeficienty. Může nastat situace, kdy model jako celek je statisticky významný a některý nebo dokonce všechny koeficienty jsou statisticky nevýznamné. Jestliže je některý z koeficientů nevýznamný, tak to značí, že nemá na výsledný model vliv a lze ho z modelu vypustit. Následující tabulka zobrazuje klíčové parametry pro jednotlivé koeficienty, které jsou důležité k vyhodnocení jejich statistické významnosti. Na základě těchto hodnot lze říci, že jednotlivé koeficienty jsou statisticky významné. To znamená, že model významně zpřesní odhad závislé proměnné z nezávislých proměnných oproti použití aritmetického průměru.

6.3 Přesnost a struktura predikčních modelů

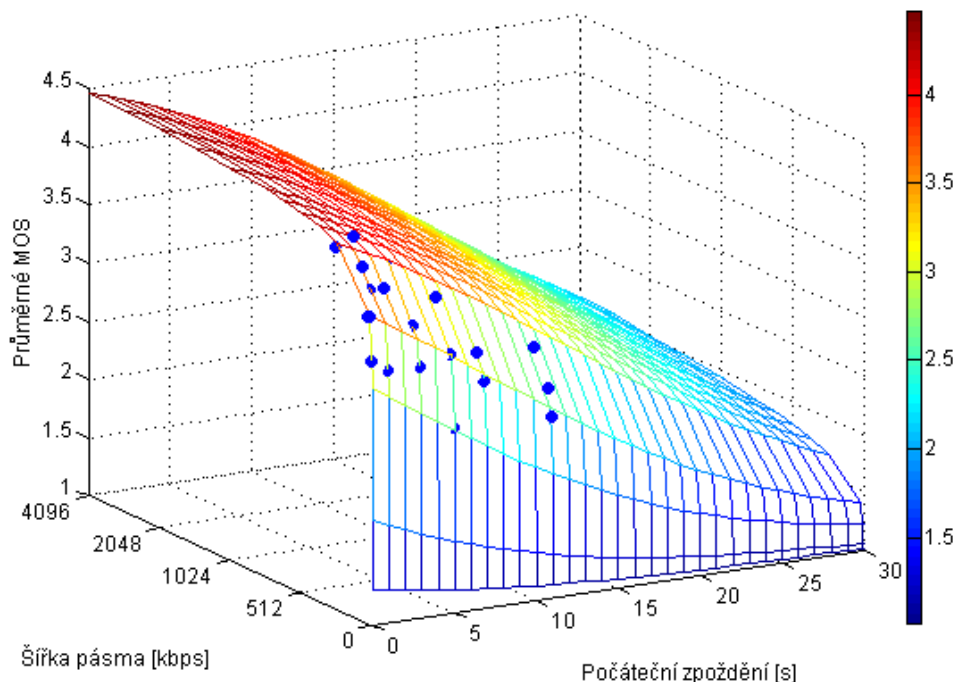
Hlavní podstatou je ověření rovnice modelu definované v 6.14 pro predikci MOS a v 6.15 pro predikci akceptability AKC . Současně jsou do modelu vykresleny jednotlivé hodnoty (body v modelu), které byly získány reálným měřením. Lze tedy vizuálně porovnat, jak se hodnoty liší vůči ploše modelu. Na obrázku 6.1 je patrný predikční model pro predikci hodnoty MOS pro mobilní zařízení. Rozsah predikčního modelu pro dostupnou šířku pásma byl zvolen od 0 do 4096kbps. Reálné hodnoty získané měřením jsou do šířky pásma o hodnotě 1024kbps. Rozsah predikčního modelu pro hodnotu počátečního zpoždění byl zvolen od 0s až do 30s. Pomocí

lineární regresní analýzy byly vypočítány koeficienty jednotlivých modelů a dosazeny do rovnice 6.14.

$$MOS_{MT} = \frac{a + be^Y}{1 + e^Y} = \frac{1 + 5e^{-0.602+0.274\ln(BR)-0.954D}}{1 + e^{-0.602+0.274\ln(BR)-0.954D}} \quad (6.16)$$

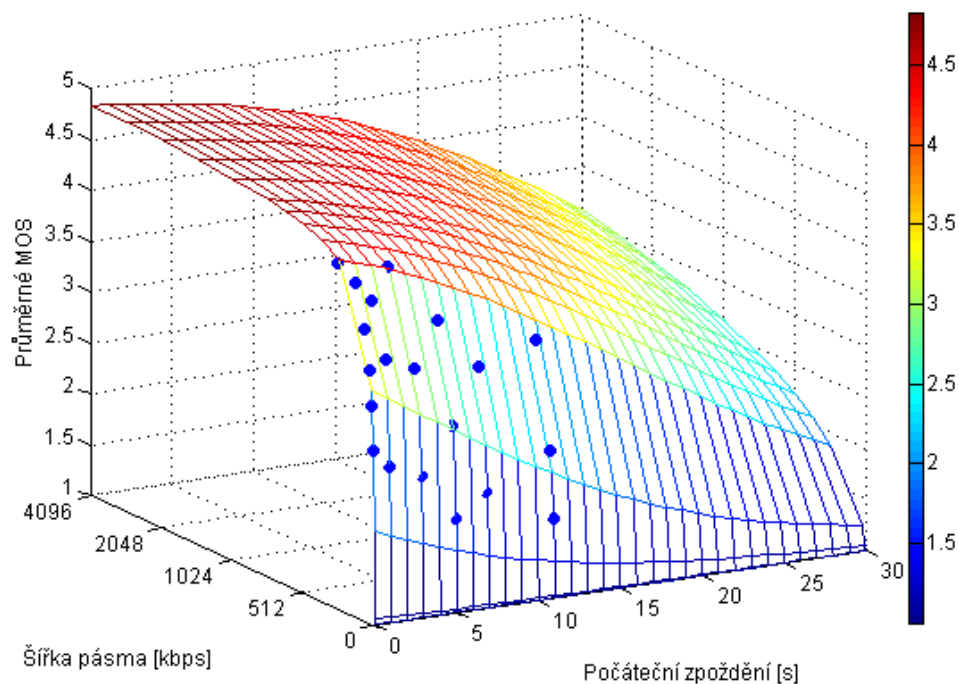
$$MOS_{NB} = \frac{a + be^Y}{1 + e^Y} = \frac{1 + 5e^{-2.712+0.65\ln(BR)-0.101D}}{1 + e^{-2.712+0.65\ln(BR)-0.101D}} \quad (6.17)$$

$$AKC = \frac{c + de^Y}{1 + e^Y} = \frac{100e^{-2.393+0.698\ln(BR)-0.125D}}{1 + e^{-2.393+0.698\ln(BR)-0.125D}} \quad (6.18)$$



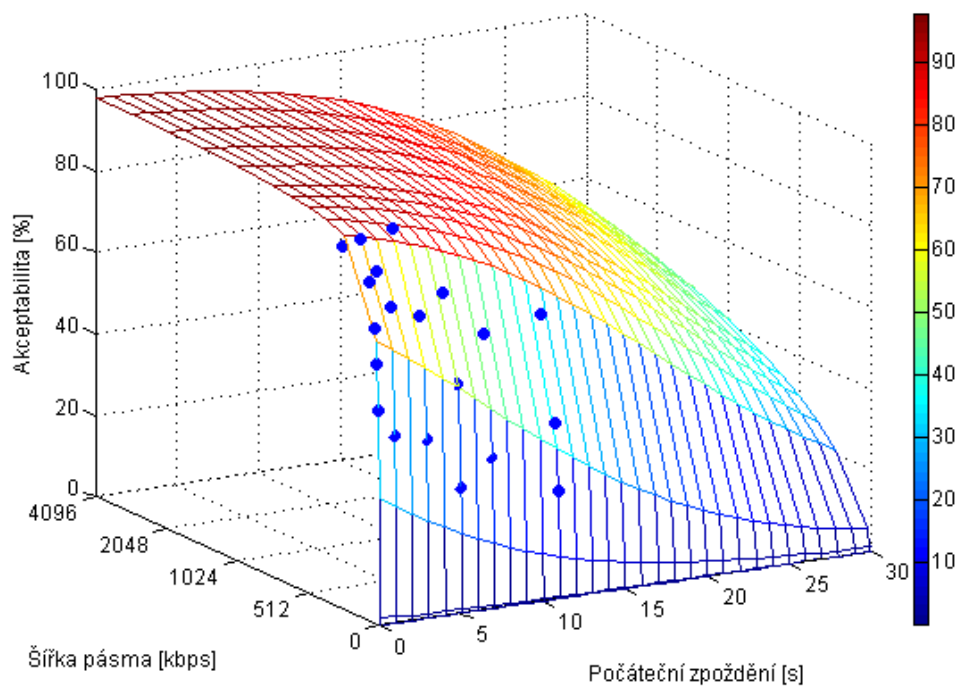
Obr. 6.1: Model pro predikci MOS (mobilní zařízení).

Dále byla provedena analýza reziduí z pohledu zjištění procentuální odchylky hodnoty získané modelem od hodnoty naměřené a pro model predikce *MOS* pro mobilní zařízení je tato průměrná odchylka 3.65 %. Pro model predikce *MOS* pro notebook je tato průměrná odchylka 4.19 %. Pro model predikce akceptability je tato průměrná odchylka 3.4 %, která má nejnižší hodnotu. Jednotlivé modely s vyznačenými body jsou patrné na obrázcích 6.1, 6.2 a 6.3. Struktura a průběh pro každý z modelů je mírně odlišná. Z pohledu struktury modelu 6.1 je patrné, že maximální hodnota MOS se blíží hodnotě 4.5 MOS s rostoucí dostupnou šířkou pásma. Spolu s klesající šířkou pásma klesá i hodnota MOS. Další strmý pokles MOS je patrný se zvyšujícím se zpožděním. Z druhého modelu 6.1, který je určený pro predikci hodnoty MOS pro notebook je patrné, že maximální hodnota MOS se blíží hodnotě 5 MOS s rostoucí dostupnou šířkou pásma. To je více než v předchozím případě pro model predikce MOS pro mobilní zařízení. Spolu s klesající dostupnou šířkou pásma klesá i hodnota MOS. Další pokles MOS je patrný se zvyšujícím se zpožděním. V tomto případě není pokles v závislosti na počátečním zpoždění tak strmý. Mírně odlišný průběh modelu pro predikci hodnoty MOS na notebooku lze přisuzovat větší spokojenosti při využívání stejné služby na notebooku.



Obr. 6.2: Model pro predikci MOS (notebook).

Struktura modelu pro predikci akceptability 6.3 se podobá modelu pro predikci hodnoty MOS pro notebook. Maximální akceptabilita se blíží hodnotě 100, což značí maximální spokojenost. Hodnota akceptability pozvolně klesá pro nižší dostupnou šířku pásma a zvyšující se zpoždění.



Obr. 6.3: Model pro predikci celkové akceptability.

6.4 Zhodnocení predikčních modelů

Základem pro návrh jednotlivých predikčních modelů jsou data získána komplexním měřením, kterého se účastnilo několik desítek lidí. Tím vznikl pevný základ pro návrh tří predikčních modelů. Jako matematický základ pro tyto modely byla zvolena lineární regresní analýza, která se obecně používá pro návrh takovýchto modelů. Přínosem celého návrhu je metoda omezení intervalu pomocí logistické regresní analýzy. Dále je to normování intervalu závislých proměnných a vytvoření tak vazby mezi naměřenými hodnotami a příslušnou matematickou metodou.

Samotné metody použité pro návrh predikčních modelů jsou poměrně komplexní a tato práce nepokrývá všechny detaily, které souvisejí s metodou lineární regrese a logistické regrese. Primárním cílem práce je více se zaměřit na získané hodnoty a model jako celek. Pro hodnocení vhodnosti zvolených dat pro predikční model byly použity základní metody, jejichž hlubší princip a odvození je dohledatelné v příslušné literatuře [20]. Zde jsou tyto principy popsány více obecným způsobem, protože pro samotné predikční modely nejsou tolik důležité. Stejně tak dílčí výpočty koeficientů pomocí regresní metody, kdy byl celý postup automatizován pomocí vhodného vývojového prostředí. Během návrhu modelu a obzvláště pak během výběru vhodné množiny hodnot bylo prováděno velké množství výpočtů pomocí regresní analýzy. V případě neautomatizovaného přístupu by se jednalo o velice složitý a časově náročný proces. To souvisí s logaritmickou konverzí dostupné šířky pásma pro potřeby modelu. Jeho vhodnost byla zjištěna experimentálně, kdy logaritmizace dostupné šířky pásma byla jednou z možných metod spolu s lineárním a exponenciálním průběhem.

Za použití dílčích analýz vhodnosti zvolené množiny dat se ukázalo, že jak modely, tak i jejich dílčí koeficienty jsou statisticky významné. Výsledky predikčních modelů dávají lepší výsledky než jejich reprezentace pomocí aritmetického průměru. Stejně tak jsou významné všechny dílčí nezávislé proměnné, a proto mají vliv na výsledný model. Nelze tedy žádnou z nezávislých proměnných vypustit, aniž by to změnilo strukturu jednotlivých modelů. Během dílčích analýz bylo zjištěno, že přesnost jednotlivých modelů je poměrně vysoká a z toho důvodu vhodná pro predikci hodnoty MOS a akceptability.

7 ZÁVĚR

Oblast webových služeb, mobilních telekomunikačních sítí a koncových zařízení spolu úzce souvisejí. Dohromady tvoří řetazec, kde na každou jeho část je kladen velký důraz a vysoké požadavky. Rychlost vývoje v této oblasti je dána technologickým pokrokem a také tlakem koncových uživatelů, jejichž nároky stále rostou. Tato skutečnost s sebou nese problém, který souvisí s množstvím dat, které je nutné přenášet skrze síť Internet. Je proto nutné neustále hledat nová řešení a navýšovat tak kapacitu sítě pro přenos. Velká část přenosů se uskuteční v prostředí mobilních telekomunikačních sítí, kde každý poskytovatel služeb nese zodpovědnost za síť v souvislosti s kvalitou poskytování jednotlivých služeb. Obzvláště v této oblasti je pak nutné sledovat trend vývoje koncových mobilních zařízení a webových služeb. Změny, které souvisejí s navýšováním kapacity jsou jak časově, tak finančně náročné. Určitá predikce vývoje trhu je pak důležitá pro tyto poskytovatele mobilních telekomunikačních služeb. To potvrzují zprávy vydané ČTU (Český telekomunikační úřad), kde se uvádí, jak investice do rozvoje síťové infrastruktury meziročně rostou. Na druhé straně je návratnost těchto investic. Je tedy nutné nalézt vyvážený stav mezi investicemi a dopadem na koncové uživatele. Tato práce je primárně zaměřena na to, aby pomohla najít právě takový kompromis. Pro subjektivní hodnocení kvality webové služby v prostředí mobilních telekomunikačních sítí byla doporučení ITU-T brána jako základ, který byl dále uzpůsoben konkrétním požadavkům a rozšířen o klíčové parametry, které ovlivňují subjektivní vnímání služby. Výsledkem je navržená metodika, která je popsána v kapitole 2. Metodika integruje výsledné hodnocení založené na stupnici MOS a dále ho rozšiřuje o hodnocení akceptability, což je nový přístup, který je z pohledu metodiky inovativní a dává získaným výsledkům další rozměr. To potvrzují ohlasy z významných mezinárodních konferencí, jako je konference IEEE Globecom 2013 pořádaná v Atlantě ve Spojených státech [2] a IEEE International Conference on Communications (ICC) v Sydney v Austrálii [1], kde byla metodika společně s výsledky prezentována. Pro účely testování byla navržena a realizována komplexní platforma, která splňuje všechny požadavky vycházející z navržené metodiky. Celá platforma je navržena pro testování reálného webového obsahu, což dělá jednotlivé testy více věrohodné. Dále využívá moderní technologie, které korespondují s trendem v této oblasti. Platforma zajistila hladký průběh pro testování, které bylo provedeno na skupině o velikosti 194 lidí. Z toho pohledu bylo provedeno unikátní měření subjektivního vnímání kvality pro oblast mobilních telekomunikačních sítí. Vzhledem k velikosti skupiny bylo získáno velké množství hodnot, jejichž detailní analýza je uvedena v kapitolách 3 a 4. Z těchto hodnot byl dále stanoven práh kvality jak z pohledu dostupné šířky pásma, tak z pohledu hodnoty MOS a dále práh saturace. V další části práce je pak přistoupeno k návrhu predikčních modelů pro predikci hodnoty MOS a hodnoty akceptability. Z matematického pohledu se podařilo navrhnout trojici modelů, které vykazují vysokou přesnost a spolehlivost. Modely mají za cíl prodloužit aktuálnost získaných výsledků tím, že umožňují predikovat hodnotu MOS a hodnotu akceptability i pro rozsah vstupních hodnot, které nebyly součástí měření. Modely jsou navrženy pro vstupní parametry vycházející z analýzy klíčových parametrů ovlivňujících subjektivní vnímání kvality. Potenciál a kvalitu dosažených výsledků lze odvodit od kladných ohlasů z konferencí, tak i ze zájmu o výsledky ze strany poskytovatele mobilních telekomunikačních služeb.

LITERATURA

- [1] ALEXA, THE WORLD INFORMATION COMPANY. *The top 500 sites in Czech Republic*, [online], <http://www.alexa.com/topsites/countries/CZ>. 2010.
- [2] BOUCH, A.; SASSE, M. A.; DEMEER, H. G. *Of packets and people: a user-centered approach to quality of service*. In Proc. of IWQoS 2000.
- [3] CISCO. *Visual Networking Index, ongoing initiative to track and forecast the impact of visual networking applications : Forecast and Methodology 2011-2016*. 2012.
- [4] COLLANGE, D.; COSTEUX, J.-L. *Passive estimation of quality of experience*. Journal of Universal Computer Science, 2008.
- [5] CUI, H.; BIRSACK, E. *On the Relationship Between QoS and QoE for Web Sessions*. Eurocom, Research Report RR-12-263, 2012.
- [6] ČTU - ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD. *Zpráva a vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2012*. 2012.
- [7] EGGER, S.; HOSSFELD, T.; SCHATZ, R.; FIEDLER, M., *Waiting times in quality of experience for web based services*. Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2012 Fourth International Workshop on , vol., no., pp.86,96, 5-7 July 2012.
- [8] ETSI TR 102 643 v. 1.0.2. *Human factors (HF); Quality of Experience requirements for real-time communication services*. 2010.
- [9] IBARROLA, E.; LIBERAL, F.; TABOADA, I.; ORTEGA, R. *Web qoe evaluation in multi-agent networks: Validation of itu-t g.1030*. Proceedings of the 2009 Fifth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems, USA, 2009.
- [10] ITU-T REC. E.800. *Definitions of terms related to quality of service [online]*. <http://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>. 2008.
- [11] ITU-T RECOMMENDATION G.1030. *Estimating end-to-end performance in IP networks for data applications, International Telecommunication Union*. 2005.
- [12] ITU-T RECOMMENDATION P.10/G.100 (INCL. AMENDMENT 2). *Vocabulary for performance and quality of service [online]*. <http://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>. 2008.
- [13] ITU-T RECOMMENDATION P.910. *Subjective video quality assessment methods for multimedia applications, International Telecommunication Union*. 2008.
- [14] KHAN, A.; LINGFEN S.; IFEACHOR, E.; FAJARDO, JOSE OSCAR; LIBERAL, F. *Video Quality Prediction Model for H.264 Video over UMTS Networks and Their Application in Mobile Video Streaming*. Communications (ICC), 2010 IEEE International Conference on , vol., no., pp.1,5, 23-27 May 2010.
- [15] KHAN, A.; LINGFEN, S.; IFEACHOR, E., *QoE Prediction Model and its Application in Video Quality Adaptation Over UMTS Networks*. Multimedia, IEEE Transactions on , vol.14, no.2, pp.431,442, 2012.
- [16] KHIRMAN, S.; HENRIKSEN, P. *Relationship between quality-of-service and quality-of- experience for public internet service*. In Proceedings of the 3rd Workshop on Passive and Active Measurement, USA, 2002.
- [17] LEITNER, M.; WOLKERSTORFER, P.; GEVEN, A.; HOLLER, N.; TSCHELIGI, M. *Evaluating a mobile multimedia application in field trials: the cost-benefit of self-report methods*. Mobile Living Labs 09: Methods and Tools for Evaluation in the Wild, 2009.

-
- [18] MOOR, K. D.; KETYKO, I.; JOSEPH, W.; DERYCKERE, T.; MAREZ, L. D.; MARTENS, L.; VERLEYE, G. *Proposed framework for evaluating quality of experience in a mobile, testbed-oriented living lab setting*. Mobile Networks and Applications, 2010.
- [19] PAPAMILTADIS, K.; ZISIMOPOULOS, H.; GASPARRONI, M.; LIOTTA, A. *User quality of service perception in 3g mobile networks*. Telecommunications Quality of Services: The Business of Success, 2004.
- [20] RAMIK, J. *Statistika. Obchodně podnikatelská fakulta v Karviné*. Slezská univerzita v Opavě, Karviná, 2007.
- [21] REICHL, P., FABINI, J., HAPPENHOFER, M., EGGER, C. *From QoS to QoX: A charging perspective*. In Proceedings of the 18th ITC Specialist Seminar on Quality of Experience. Blekinge: Blekinge Institute of Technology, 2008.
- [22] SALIBA, J.; BERESFORD, A.; IVANOVICH, M.; FITZPATRICK, P. *User-perceived quality of service in wireless data networks*. Personal Ubiquitous Computing, 2005.
- [23] SCHATZ, R.; EGGER, S. *Vienna Surfing - Assessing Mobile Broadband Quality in the Field*. ACM SIGCOMM Workshop on Measurements Up the STack (W-MUST), 2011.
- [24] SCHATZ, R.; EGGER, S.; PLATZER, A. *Poor, Good Enough or Even Better? Bridging the Gap between Acceptability and QoE of Mobile Broadband Data Services*. In Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Communications, 2011.
- [25] SHAIKH, J.; FIEDLER, M.; COLLANGE, D. *Quality of experience from user and network perspectives*. Annals of Telecommunications.
- [26] STROHMEIER, D.; MIKKOLA, M.; RAAKE, A. *The importance of task completion times for modeling web-QoE of consecutive web page requests*. Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2013 Fifth International Workshop on , vol., no., pp.38,39, 3-5 July 2013.
- [27] XIN YU; HUIFANG CHEN; WENDAO ZHAO; LEI XIE. *No-Reference QoE Prediction Model for Video Streaming Service in 3G Networks*. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2012 8th International Conference on , vol., no., pp.1,4, 21-23.
- [28] YI CAO; RITZ, C.; RAAD, R. *How much longer to go? The influence of waiting time and progress indicators on quality of experience for mobile visual search applied to print media*. Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2013 Fifth International Workshop on , vol., no., pp.112,117, 3-5 July 2013.

LITERATURA

Seznam publikací autora práce

- [1] HOŠEK, J.; RIES, M.; VAJSAR, P.; NAGY, L.; ANDREEV, S.; GALININA, O.; KOUCHERYAVY, Y.; ŠULC, Z.; HAIS, P.; PENÍŽEK, R. *Predicting User QoE Satisfaction in Current Mobile Networks*. In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC) 2014. Sydney, Australia: IEEE, 2014. s. 1094-1099. ISBN: 978-1-4799-2004- 4.
- [2] HOŠEK, J.; RIES, M.; VAJSAR, P.; NAGY, L.; ŠULC, Z.; HAIS, P.; PENÍŽEK, R. *Mobile Web QoE Study for Smartphones..* In Proceedings of the 2013 IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM 2013. 1. Atlanta, USA: IEEE, 2013. s. 1162-1166. ISBN: 978-1-4799-2851- 4
- [3] HOŠEK, J.; RIES, M.; VAJSAR, P.; NAGY, L.; ANDREEV, S.; GALININA, O.; KOUCHERYAVY, Y.; ŠULC, Z.; HAIS, P.; PENÍŽEK, R. *Users Happiness in Numbers: Understanding Mobile YouTube Quality Expectations..* In Proceedings of the 37th International Conference on Telecommunication and Signal Processing, TSP 2014. Berlin, Germany: 2014. s. 28-32. ISBN: 978-80-214-4983- 1.
- [4] RIES, M.; HOŠEK, J.; VAJSAR, P.; NAGY, L. *Souhrnná výzkumná zpráva k HS: Youtube - QoE. 2013..* s. 1-49.
- [5] HOŠEK, J.; MOLNÁR, K.; VAJSAR, P.; JAKÚBEK, P. *Map-based direct position control system for wireless ad- hoc networks..* TELECOMMUNICATION SYSTEMS, 2013, roč. 49, č. 5, s. 1-15. ISSN: 1018-4864.
- [6] VAJSAR, P.; MAŠEK, P.; HOŠEK, J.; MAKHLOUF, N.; LEU, J. *Design of QoS Model for Mobile Ad-hoc Network..* In Proceedings of the 36th International Conference on Telecommunication and Signal Processing 2013. Rome, Italy: 2013. s. 111-117. ISBN: 978-1-4799-0403- 7.
- [7] HOŠEK, J.; KOVÁČ, D.; VAJSAR, P.; POTFAY, A. *QoS Support in Routing Protocols for MANET..* In Proceedings of the 36th International Conference on Telecommunication and Signal Processing 2013. Rome, Italy: 2013. s. 118-122. ISBN: 978-1-4799-0403- 7.
- [8] NAGY, L.; HOŠEK, J.; VAJSAR, P.; NOVOTNÝ, V. *Impact of Signalling Load on Response Times for Signalling over IMS Core..* In Processing of the 2013 IEEE Federated Conference on Computer Science and Information Systems - IEEE FedCSIS2013. 1. Krakow, Poland.: Polskie Towarzystwo Informatyczne, 2013. s. 663-666. ISBN: 978-83-60810-53- 8.
- [9] MAKHLOUF, N.; NAGY, L.; VAJSAR, P. *Prediction of Movement of Wireless Nodes in Mobile Ad-hoc Networks..* In The 4th IEEE Intl' Conference on Cognitive Infocommunicaitons. 2013. s. 115-120. ISBN: 978-1-4799-1544- 6.
- [10] MAKHLOUF, N.; VAJSAR, P. *MAC Protocols for MANET Networks with Directional Antennas..* Conference of Informatics and Management Sciences. Žilina, Slovak Republic: : EDIS - Publishing Institution of the University of Zilina, 2013. s. 301-304. ISBN: 978-80-554-0648- 0.
- [11] MAKHLOUF, N.; VAJSAR, P. *Mac Protocols in Mobile Ad Hoc Networks..* International Journal of Advances in Telecommunications, Electrotechnics, Signals and Systems, 2012, roč. 2012, č. 1, s. 1-4. ISSN: 1805- 5443.
- [12] VAJSAR, P.; HOŠEK, J.; MOLNÁR, K.; BARTL, M. *Advanced Trajectory Management Techniques for Mobile Nodes in OPNET Modeler Environment..* In Proceedings of the 35th International Conference on Telecommunications and Signal Processing - TSP' 2012. 1. 2012. s. 348-353. ISBN: 978-1-4673-1116- 8.

-
- [13] VAJSAR, P.; HOŠEK, J.; BARTL, M.; MORÁVEK, P.; MAKHLOUF, N.; FIGURNY, R. *Implementation of OLSR-based QoS support into MANET..* In Research in Telecommunication Technologies 2012. 2012. s. 1-5. ISBN: 978-80-554-0570- 4.
- [14] VAJSAR, P.; HOŠEK, J.; BARTL, M.; MOLNÁR, K. *Implementation of Mobility Management Methods for MANET..* International Journal of Advances in Telecommunications, Electrotechnics, Signals and Systems, 2012, roč. 1, č. 2, s. 1-7. ISSN: 1805- 5443.
- [15] HOŠEK, J.; VAJSAR, P.; FIGURNY, R. *OLSR-based QoS support in Mobile Ad-hoc Networks..* In Advances in Data Networks, Communications, Computers and Materials - Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Data Networks, Communications, Computers (DNCOCO'12). Malta: WSEAS Press, 2012. s. 99-104. ISBN: 978-1-61804-118- 0.
- [16] HOŠEK, J.; VAJSAR, P.; RŮČKA, L.; MOLNÁR, K.; DOSTÁL, O. *Network Link Capacity Optimization for Interactive Telemedicine Services..* Elektrověue - Internetový časopis (<http://www.elektrověue.cz>), 2012, roč. 3, č. 2, s. 1-4. ISSN: 1213- 1539.
- [17] VAJSAR, P.; ŽOLDOS, P. *Aplikácia pre zobrazenie modelu bezdrôtových sietí..* In PROCEEDING OF THE 17TH CONFERENCE STUDENT EEICT 2011 Volume 3. 2011. s. 1-3. ISBN: 978-80-214-4273- 3.
- [18] MOLNÁR, K.; HOŠEK, J.; RŮČKA, L.; VAJSAR, P.; DOSTÁL, O. *Modeling of Link Capacity for Telemedicine Applications..* In The Sixth International Conference on Systems and Networks Communications. IARIA, 2011. s. 206-208. ISBN: 978-0-7695-4145- 7.
- [19] VAJSAR, P.; RŮČKA, L. *Monitoring and management system for wireless sensor networks..* In 34th International Conference on Telecommunications and Signal Processing. 1. Szent Ustvan krt. 7, Budapest: Assisztencia Szervezo Kft., 2011. s. 1-6. ISBN: 978-1-4577-1409- 2.
- [20] MORÁVEK, P.; KOMOSNÝ, D.; VAJSAR, P. *Synthetic Coordinate System in Wireless Sensor Networks..* In Knowledge in Telecommunication Technologies and Optics 2010. 2011. s. 1-6. ISBN: 978-80-248-2330- 0.
- [21] VAJSAR, P.; MORÁVEK, P. *Collecting and processing data from wireless sensor networks..* Elektrověue - Internetový časopis (<http://www.elektrověue.cz>), 2011, roč. 2, č. 2, s. 1-5. ISSN: 1213- 1539.
- [22] MORÁVEK, P.; KOMOSNÝ, D.; VAJSAR, P.; ŠVÉDA, J.; HANDL, T. *Study of Vivaldi Algorithm in Energy Constraint Networks..* Advances in Electrical and Electronic Engineering, 2011, roč. 9, č. 4, s. 35-42. ISSN: 1336- 1376.
- [23] VAJSAR, P.; MORÁVEK, P. *Solution for wireless sensor network monitoring..* In 6th International Conference on Teleinformatics. 2011. s. 1-4. ISBN: 978-80-214-4231- 3.
- [24] VAJSAR, P. *Wireless Sensor Network Monitoring..* In Proceeding Of the 16th Conference Student EEICT 2010. Volume 3. 2010. s. 1-3.

ABSTRAKT

V poslední době dochází k rapidnímu nárůstu mobilního provozu díky novým mobilním zařízením (chytré telefony, tablety, modemy). To má za následek, že dostupná kapacita poskytovatelů mobilních telekomunikačních služeb přestává být dostačující. Pro poskytovatele to znamená nemalé investice do sítě, které by zvýšily její kapacitu. V kontrastu s tím na jedné straně souvisí ziskovost těchto investic pro poskytovatele a na druhé straně je spokojenost uživatelů, kteří využívají placenou službu. Cílem je tedy nalézt vyváženost mezi investicemi a spokojeností zákazníků při využívání širokopásmového připojení k síti Internet skrze poskytovatele mobilních telekomunikačních služeb. Tato práce poskytuje studii, která se zabývá subjektivním vnímáním a spokojeností uživatelů s daným typem služby. Práce je zaměřena na hodnocení využívání webových služeb v různých podmínkách a s různým obsahem na koncových zařízeních. Získané výsledky poskytují detailní informace pro subjektivní vnímání kvality ze strany uživatele a určují prahy kvality a saturace pro dosažení spokojenosti koncových uživatelů. Získaná data dále poskytují základ pro návrh tří predikčních modelů pro predikci hodnoty MOS (pro notebook a pro mobilní zařízení) a pro predikci akceptability.