

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

Ing. Bohumil Novotný

MULTIPLATFORMNÍ KOMUNIKACE V PRÍSTUPOVÝCH SÍTÍCH

MULTIPLATFORM COMMUNICATION IN ACCESS NETWORKS

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Teleinformatika

Školitel: doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

Oponenti:

Datum obhajoby:

KLÍČOVÁ SLOVA

Distribuovaný stochastický algoritmus, push-sum protokol, senzorová síť, interference, detekce poruchy, statistická kredibilita.

KEYWORDS

Distributed Stochastic Algorithm, Push-sum Protocol, Sensor Network, Interference, Failure Detection, Statistical Credibility.

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

© Bohumil Novotný, 2017

ISBN 80-214-

ISSN 1213-4198

OBSAH

Úvod	5
1 Analýza současného stavu	6
1.1 Distribuované systémy	7
1.2 Stochastické distribuované systémy.....	7
1.2.1 Protokoly založené na vzájemném sdělování informace	7
1.2.2 Protokol Push-Sum.....	9
1.3 Interference v bezdrátových sítích	11
2 Cíle dizertační práce	11
3 Analýza problému	12
3.1 Komparace statistické kredibility reprezentanta průměrné rychlosti konvergence protokolu push-sum.....	12
3.1.1 Výsledky pro model rychlosti konvergence ve slabě propojené topologii	12
3.1.2 Výsledky pro model rychlosti konvergence v silně propojené topologii	13
3.1.3 Analýza výsledků modelu rychlosti konvergence v silně a slabě propojené topologii	13
3.2 Vliv ztráty zprávy na zvolené topologie v sítích využívajících push-sum protokol	15
3.2.1 Výsledky simulace	15
3.2.2 Diskuse výsledků	17
4 Návrh nové metody Detekce poruchy v síti	18
4.1 Nalezení vhodně konektované topologie	19
4.2 Detekce rušivého elementu v síti	21

4.3	Diskuse výsledků návrhu	22
5	Závěr a diskuse dosažených výsledků	24
	Literatura	27
	publikační činnost	29
	aktivity spojené se studiem	30
	Vedené diplomové práce	30
	Oponentury	30
	Výuka laboratorních cvičení:	31
	Další aktivity.....	31
	Abstrakt	32
	Abstract	32

ÚVOD

Vývoj komunikačních technologií je stále se zrychlující proces. Masový rozvoj bezdrátových technologií s sebou přináší nové výzvy, kterým je třeba čelit. Jednou z nich se stává komunikace mezi zdánlivě odlišnými platformami. Multiplatformní komunikaci v přístupových sítích tedy můžeme chápat jako kooperaci komunikačních mechanismů bez vzájemného narušování funkcí. Tato dizertační práce se zaměřuje primárně na koexistenci bezdrátových přenosových platforem LTE, DVB-T a družicového rádia SiriusXM. Právě skutečnost, že jsou tyto platformy integrované do sítě na blízkých frekvencích, s sebou přináší negativní dopad na její celkovou kvalitu a spolehlivost v podobě interferencí v přístupových sítích.

Vytyčeným cílem dizertační práce je návrh nové metody detekce poruchy v bezdrátové síti s pomocí distribuovaného stochastického algoritmu push-sum. Dizertační práce volně navazuje na výzkumné projekty LO1401 Národního programu udržitelnosti a grantu GAČR 14-25298, pro výzkum byla využita infrastruktura centra SIX.

Vytyčeného cíle je dosaženo využitím modelu bezdrátové sítě, ve které jsou vzájemně provázané senzory detekující interference z jednoho uzlu, který ruší okolní přístupové body. Detekce této uměle zavedené poruchy do již existující infrastruktury v modelu je prováděna pomocí distribuovaného stochastického algoritmu push-sum na základě odhadu průměru vnitřního stavu uzlu identifikovaného parametrem kvality signálu.

Výzkum probíhající v rámci řešení dizertační práce měl ambice navrhnout nový způsob detekce poruchy v síti, který by otevřel nové možnosti přístupu k prevenci a eliminaci interferencí mezi stávajícími přístupovými body v bezdrátových sítích.

Volba vhodného algoritmu pro využití k účelu práce byla provedena na základě komparace statistické kredibility reprezentanta průměrné rychlosti konvergence protokolu push-sum a vlivu ztráty zprávy na robustnost systému ve vybraných topologiích. Na základě uvedených předpokladů pro implementaci zvoleného algoritmu do sítě je v práci proveden výzkum nové metody detekce, která je úspěšně zavedena do sítě a je prokázána a matematicky podložena správná funkce navržené metody.

Navržená metoda volně navazuje na snahu společností zabývajících se bezdrátovými přenosy pracujících s technologiemi využívajícími frekvence blízké LTE v různých zemích predikovat a detekovat interference v bezdrátových systémech. Stalo se tak především na základě upozornění místních autorit, které monitorovaly chování sítě a na základě hlášení uživatelů, společností a dalších subjektů koordinovaly nápravu. Právě způsob predikce a detekce interferencí se ale lišil mezi společnostmi zabývajících se řešením vzniklých problémů, a proto tyto společnosti vynakládaly velké úsilí, aby docílily nápravy. Pro Českou republiku byly pro implementaci centrálního dohledového systému zvoleny společnosti T-mobile v kooperaci s IBM, které mají za úkol zavést jednotný dohledový systém. Monitorovací platforma bude vybudována s ohledem na mezinárodní monitoring sítě.

Hlavním cílem dizertační práce je navázat na projekt implementace dohledového systému v síti a navrhnout a ověřit novou metodu detekce poruchy v síti. Metoda vychází z již známých distribuovaných stochastických algoritmů sloužících pro řešení jiných specifických problémů. Porucha v síti reprezentovaná interferencí mezi přístupovými body v síti je poté simulována pro scénáře s různou hustotou uzlů v síti a na základě analýzy výsledků je diskutován přínos zvoleného algoritmu a navržené metody detekce poruchy v síti.

1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

V rámci řešení dizertační práce byla prostudována dostupná literatura. Orientace studovaných témat byla zaměřena zejména na sumarizaci poznatků vztahených k aktuálně platným normám, doporučením od organizací jakou je 3GPP [1], výnosy telekomunikačních autorit v zemích, kterých se problematika interferencí nejvíce dotýká [2][3][4], sensorovým systémům [5][6][7] a matematickým definicím orientovaným na distribuovaný stochastický proces [8].

Výrazné zaměření práce na uvedená témata je dáno zejména všeobecnou rozšířeností přenosových technologií LTE a DVB-T, jejichž frekvence jsou v mnoha zemích sousedící a vznikají mezi nimi kritické interference vedoucí k oslabení nebo úplné ztrátě kontaktu uživatelského zařízení s přístupovým bodem.

1.1 Distribuované systémy

V posledních letech byla evoluce počítačové konektivity směřována na systémy distribuovaného výpočtu. Centralizovaný způsob výpočtu cest, který byl dříve hojně využíván, byl nahrazen distribuovaným výpočtem. Systémy, jejichž funkcionalita je založena na distribuovaném výpočtu, jsou označovány jako distribuované systémy. Agenty, ze kterých jsou zmíněné systémy složeny, lze charakterizovat jako elementy limitované znalostí svého přímého okolí, stejně tak jako znalostí topologie jako celku. Distribuovanost je poté chápána jako rozprostření výpočetní zátěže mezi více entit zainteresovaných pro jeden úkol. Rozprostření výpočetní zátěže může být realizováno více procesory v jednom centralizovaném výpočetním centru, ale i více nezávislými zařízeními, která mohou být geograficky vzdálena. Nasazování a následné využití distribuovaných systémů se stává odvětvím, které se dynamicky rozvíjí ve více oblastech našeho života. Jejich implementací je dosahováno výrazného zrychlení procesů, které vyžadují rychlou konvergenci. Za příklad lze vzít např. telekomunikační technologie, distribuované zpracování informací, vědecké výpočty nebo řízení procesů v reálném čase [9].

1.2 Stochastické distribuované systémy

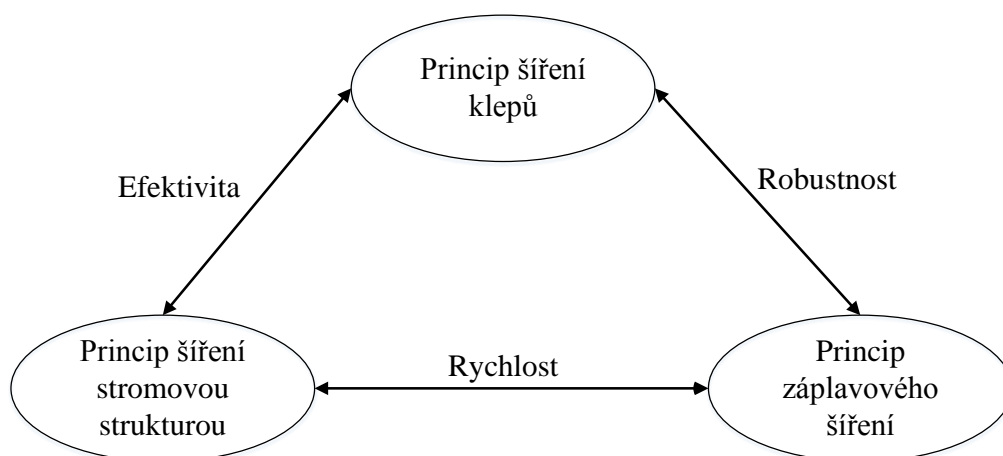
Stochastické optimalizační algoritmy lze definovat jako náhodné a tedy nedeterministické algoritmy, které mohou sloužit pro získávání informace. Většinu používaných algoritmů z kategorií výpočetní počítačové inteligence, metaheuristických nebo genetických lze pomocí stochastických algoritmů optimalizovat. Algoritmy využívající jisté náhodnosti v procesu mají ve skutečnosti daná pravidla chování a mohou se zaměřovat na oblasti vhodné pro jejich implementaci v síti a ostatní oblasti v rámci svých výpočtů ignorovat [10].

1.2.1 Protokoly založené na vzájemném sdělování informace

Protokoly založené na vzájemném sdělování informace jsou velmi často využívány pro implementaci v ad-hoc sítích, ve kterých není určen žádný nadřazený prvek, peer to peer sítích označovaných také P2P pracujících na podobném principu jako ad-hoc a také

senzorových sítích. Předávání informace v uvedených sítích mezi jednotlivými uzly je v odborné literatuře nazýváno též předávání drbů či pomluv. Takové označení nejlépe vystihuje podstatu procesu předávání drbů v sociální oblasti. Tyto protokoly jsou nasazovány nejčastěji k řešení problémů škálovatelnosti a spolehlivosti sítí. Jejich schéma je navrženo pro decentralizovaná zpracování agregačních funkcí v překryvných sítích [11].

Protokoly využívané pro šíření informací ve velmi rozsáhlých síťových systémech by měly splňovat základní podmínky, mezi které patří efektivita, robustnost, rychlost a škálovatelnost. Tyto podmínky vedou otázce volby principu šíření informace. Nejlépe ji splňují protokoly vyžívající epidemického šíření informace založené na vzájemném sdělování informace mezi uzly v síti nazývané jako protokoly s principem šíření klepů. Jejich hlavními přednostmi je efektivita a robustnost na úkor latence. Na obrázku Obrázek 1 lze poté vidět vztah mezi třemi hlavními principy šíření klepů.



Obrázek 1: Principy šíření informace v síti [12].

V reálném světě se princip rozproštění informace do populace šíří v podstatě stejným způsobem a lze ho popsat následovně. Nazvěme nositele klepu (informace) informovaným jedincem. Ostatní jedinci v jeho okolí, kteří jsou neinformováni, budou nazváni jako neznalí. Všichni neznalí chtějí mít informaci od znalého. Znalý jedinec si vybírá jednoho neznalého v okolí a informaci rozšíří. Tím se neznalý stává známým a stejným způsobem informaci předá do svého okolí. Informace je předávána vždy po uplynutí času jednoho kola. Celá procedura předávání zprávy končí v momentě, kdy se všichni neznalí v určené oblasti stanou známými. Minimální čas S_n potřebný

k rozprostření informace lze vyjádřit jako:

$$S_n = \log n + \ln n + O(1) \quad (1)$$

Tato rovnice ale platí pouze při předávání zprávy (push) s pravděpodobností n blížící se nekonečnu [13]. Při takovém rozeslání informace je počet všech zpráv definován jako $O(N \log N)$. Předpokládejme, že máme populaci o velikosti n a v daném kole počet informovaných osob roven k . Můžeme tvrdit, že počet neinformovaných osob bude $n - k$. Poměr informovaných a neinformovaných osob tedy poté můžeme vyjádřit proměnnou X při velikosti vzorku k . Tento případ je vyjádřen v rovnici (2).

$$P(X = x) = \frac{\binom{n-k}{x} \binom{k}{k-x}}{\binom{n}{k}} \quad (2)$$

Pro $0 \leq x \leq \min(n - k, k)$. To je hypergeometrická distribuce s velikostí populace n , počtem informovaných osob v populaci $n - k$ a velikostí vzorku k , který je označován jako $HG(n, n - k, k)$. Z této rovnice poté dostaneme:

$$E(X) = \frac{k(n-k)}{n} = k - \frac{k^2}{n} \quad (3)$$

Z rovnice vyplývá, že zdvojnásobení počtu informovaných osob v populaci dosáhneme, když $E(X) > k$ nebo $k < \sqrt{\frac{n}{2}}$. Pro velikost populace s jednou informovanou osobou očekáváme 2^j osob informujících. Zde proměnná j definuje počet kol od začátku rozprostírání informace **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

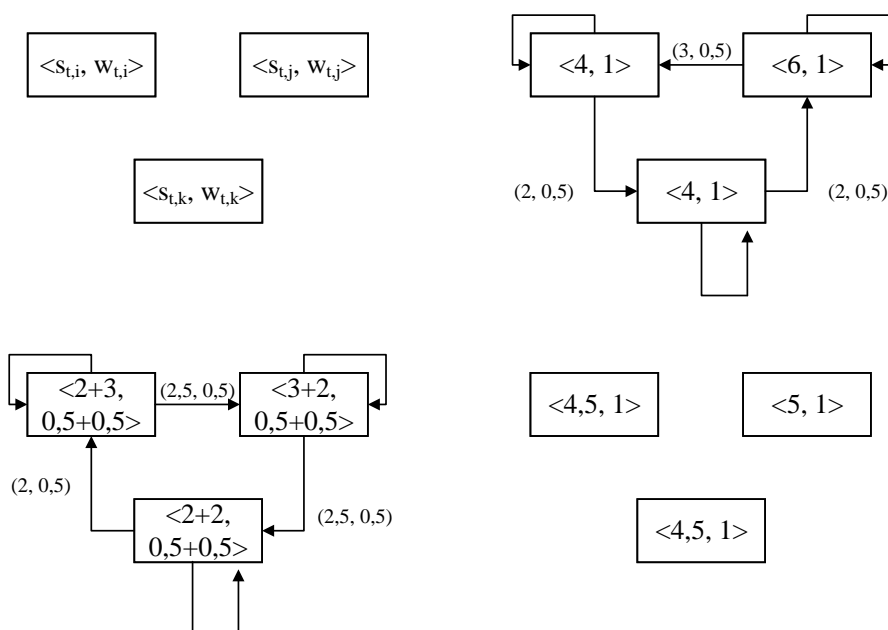
1.2.2 Protokol Push-Sum

Push-sum protokol je klasifikován jako multifunkční epidemický se šířící algoritmus, jehož funkcionalita je založena na distribuci hodnot mezi páry agentů [11]. Je určen pro nahodilou komunikaci v rozsáhlých sítích, ve kterých garantuje jejich rychlost konvergence, přesnost, robustnost, škálovatelnost, výpočetní a komunikační efektivitu a vysokou stabilitu při rušení. Základním principem protokolu bývají modifikace pro výpočet průměrných hodnot ze vstupních parametrů. Na začátku celého procesu je každému agentu přiřazen počáteční vnitřní stav roven jedné. Zároveň je určena váha každého agenta také pro hodnotu jedna. V následujícím kroku je náhodně

vybrán jeden z jeho sousedů při každé iteraci. Zvolenému agentovi je poslána poloviční hodnota vnitřního stavu odesílatele a poloviční hodnota jeho váhy. Ty samé hodnoty jsou také uloženy ve vnitřní paměti odesílatele. Každý agent je poté schopen vypočítat poměr těchto hodnot. Tento postup je popsán následovně:

1. Necht' $\{(\widehat{s}_r, \widehat{w}_r)\}$ jsou páry poslané i v $t - 1$,
2. necht' $s_{t,i} := \sum_r \widehat{s}_r, w_{t,i} := \sum_r \widehat{w}_r$,
3. rovnoměrně náhodný výběr agenta $f_t(i)$,
4. odeslání páru $(\frac{1}{2}s_{t,i}, \frac{1}{2}w_{t,i})$ agentu $f_t(i)$ a i ,
5. $\frac{s_{t,i}}{w_{t,i}}$ je odhad průměru v t .

Protokol push-sum se chová podle následujících pravidel. Každý uzel i pracuje se sumou s_i a vahou w_i . Počáteční stav $s_i = x_i$ a počáteční váha uzlu je $w_i = 1$. V každém kole je náhodně vybranému okolnímu uzlu označenému j a sobě samému zaslána polovina stavu uzlu $s_i/2$ a polovina váhy uzlu $w_i/2$. Poté jsou přičteny všechny obdržené hodnoty s_j a w_j . Na konci kola je vypočítán odhad jako poměru hodnot s_i/w_i . Aby bylo možné jasně určit princip fungování, je na obrázku Obrázek 2 znázorněn výpočet vah a stavů pro tři uzly v síti.



Obrázek 2: Princip výpočtu hodnot váhy a stavu u push-sum protokolu.

1.3 Interference v bezdrátových sítích

Digitální přenosy televizního signálu DVB-T se staly v mnoha zemích samozřejmostí. Místní autority alokují pro přenosy signálu určená pásma nazývaná též digitální dividendy. Frekvence vyčleněné pro přenosy určené pro mobilní komunikace se ve většině zemí pohybují mezi 790 MHz až 862 MHz [16]. Alokace zdrojů pro tyto frekvence začala již před rokem 2015. S vyhrazením zdrojů se objevil nový náhled na koexistenční problémy skrze sousední státy využívající toto spektrum. Mezi nové výzvy k řešení patří především tyto:

- Interference mezi kanály sousedících regionů či zemí využívajících stejné frekvence pro různé účely. Jeden region pro analogové přenosy, jiný pro digitální přenosy médií.
- Vzájemné rušení kanálů blízkých kmitočtu 790 MHz v rámci jedné geografické oblasti. Nejčastěji mobilní datová síť využívaná pod tímto frekvenčním limitem a pozemní televizní vysílání využívající frekvence nad tímto limitem.
- Mezikanálová interference v rámci dané geografické oblasti pro jednu digitální dividendu mezi DVB-C2 a mobilními systémy [17].

Teoretickým analýzám mezikanálových interferencí je věnováno několik publikací, jako jsou [17][18][19].

2 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Primárním cílem, jenž stanovuje samotné téma práce, je návrh nové metody detekce poruchy v bezdrátové síti s využitím distribuovaného stochastického algoritmu push-sum zvoleného na základě poznatků vzešlých z komparace vlivu ztráty zprávy na topologie využívající protokol push-sum a ověření dostatečné robustnosti protokolu. Jmenovitě jsou cíle dizertační práce stanoveny následovně:

1. Analýza současného stavu zainteresovaných témat vedoucí k volbě vhodného distribuovaného stochastického algoritmu.
2. Komparace statistické kredibility reprezentanta průměrné rychlosti konvergence zvoleného protokolu.
3. Ověření vlivu ztráty zprávy na robustnost zvoleného protokolu a volba vhodné topologie pro model detekce poruchy.
4. Návrh nové metody detekce poruchy vedoucí k funkčnímu řešení a jeho prezentace.
5. Ověření funkčnosti nově navržené metody detekce a její diskuse.

3 ANALÝZA PROBLÉMU

3.1 Komparace statistické kredibility reprezentanta průměrné rychlosti konvergence protokolu push-sum

V rámci dizertační práce je vzájemně komparována statistická kredibilita reprezentanta průměrné rychlosti konvergence protokolu push-sum. Komparace je provedena z důvodu zjištění vhodnosti protokolu k vlastní implementaci a modelování navrženého řešení. Cílem této kapitoly je ukázat, jaký vliv má narůstající počet opakování provedení push-sum protokolu na statistickou kredibilitu reprezentanta rychlosti konvergence. Model situace je vyhotoven pro dvě topologie sítě zastupující slabě a silně propojenou topologii.

3.1.1 Výsledky pro model rychlosti konvergence ve slabě propojené topologii

Model byl vytvořen s pomocí protokolu push-sum. Pro větší přehlednost jsou výsledky uvedeny v tabulce Tabulka 1. Následné grafické zpracování výsledků je uvedeno v příloze dizertační práce. Variační rozpětí bylo vypočteno jako rozdíl mezi největším a nejmenším prvkem z množiny naměřených hodnot. Z výsledků můžeme pozorovat skutečnost, že s narůstajícím počtem opakování se variační rozpětí opět

zmenšuje.

Tabulka 1: Variační rozpětí pro slabě propojené topologie.

Počet opakování [-]	10	100	1 000	10 000	100 000
Běh 1 [-]	202,1	207,2	205,298	205,7752	205,6805
Běh 2 [-]	203,7	204,29	205,263	205,7373	205,619
Běh 3 [-]	204,1	207,34	205,165	205,5086	205,6778
Běh 4 [-]	200,5	204,1	205,646	205,711	205,6724
Běh 5 [-]	214,2	207,59	206,677	205,7225	205,6736
Variační rozpětí[-]	13,7	3,49	1,512	0,2666	0,0615

3.1.2 Výsledky pro model rychlosti konvergence v silně propojené topologii

V této části jsou zobrazeny výsledky rychlosti konvergence v silně propojené topologii reprezentované plně propojenou topologií o rozměru osmi uzlů. Testování uvedené topologie přineslo výsledky uvedené v tabulce Tabulka 2. Dle předchozích teoretických předpokladů bylo dokázáno, že čím více bude struktura sítě vzájemně provázána, tím lepší konvergence bude síť dosahovat.

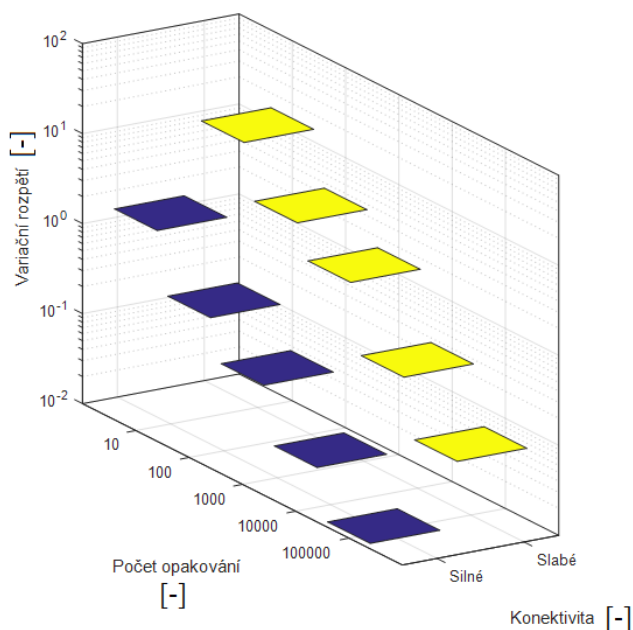
Tabulka 2: Variační rozpětí pro silně propojené topologie.

Počet opakování [-]	10	100	1 000	10 000	100 000
Běh 1 [-]	22,3	24,02	23,843	23,8121	23,816
Běh 2 [-]	24,2	24,11	23,765	23,8098	23,8098
Běh 3 [-]	24	23,81	23,797	23,8339	23,814
Běh 4 [-]	23,8	24,28	23,841	23,8021	23,8213
Běh 5 [-]	24,5	23,82	23,677	23,7936	23,8125
Variační rozpětí [-]	2,2	0,47	0,166	0,0403	0,0115

Variační rozpětí bylo opět vypočteno jako rozdíl mezi největším a nejmenším prvkem z množiny naměřených hodnot. Z výsledků můžeme opět pozorovat skutečnost, že s narůstajícím počtem opakování se variační rozpětí zmenšuje. Grafické znázornění situace je opět uvedeno v příloze dizertační práce.

3.1.3 Analýza výsledů modelu rychlosti konvergence v silně a slabě propojené topologii

Aby bylo dosaženo transparentního srovnání dosažených výsledků ze simulace obou topologií, je v následujícím textu a obrázku Obrázek 3 jejich komparace uvedena. Z výsledků můžeme vidět, že se variační rozpětí zmenšuje s narůstajícím počtem opakování v obou typech topologií. Z výsledků můžeme dále pozorovat, že v silně propojené topologii bylo zaznamenáno menší variační rozpětí pro stejný počet opakování. Z dosažených výsledků vyplývá, že vyšší statistické kredibility reprezentanta rychlosti konvergence je možné dosáhnout větším počtem opakování.



Obrázek 3: Vzájemná komparace dosažených výsledků.

Pro model byl jako reprezentant zvolen aritmetický průměr, jelikož má sledovaný fenomén normální rozdělení pravděpodobnosti. Experimenty byly vykonány pro 5 různých scénářů, které se od sebe lišily v počtu opakování. Zkoumána byla statistická kredibilita reprezentanta pro velikosti 10, 100, 1000, 10 000 a 100 000 opakování. Tyto scénáře byly vykonány pro 5 rozličných běhů, ze kterých byla určena průměrná hodnota. Jako indikátor statistické kredibility byl zvolen parametr statistické rozpětí.

Jeho nižší hodnota představuje vyšší statistickou kredibilitu.

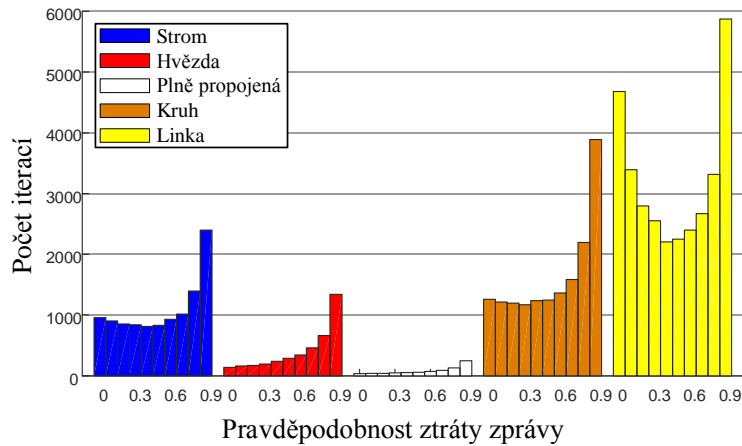
3.2 Vliv ztráty zprávy na zvolené topologie v sítích využívajících push-sum protokol

Ztráta zprávy při konvergenci distribuovaného stochastického algoritmu může vést ke zkreslení celkového výsledku. Pokud by se předpoklad robustnosti zvoleného algoritmu push-sum nepotvrdil, nemohl by být dále využíván pro detekování poruchy v síti, protože by při ztrátě zprávy při jejím šíření mohl způsobit zkreslení výsledku a následně chybnou detekci v podsíti, ve které ve skutečnosti k žádné poruše ve smyslu obdržení chybového hlášení ze senzoru nedochází.

3.2.1 Výsledky simulace

Simulací je ověřena odchylka konečného odhadu od reálné hodnoty průměru, změna charakteru odhadu způsobená odchýlením některé z hodnot a změna počtu iterací nezbytných pro dokončení výpočtu pomocí protokolu push-sum při vzniklých odchylkách. Simulace je vykonána v pěti statických. Jedná se o topologie stromu, hvězdy, plně propojenou topologii, kruh a linku. Všechny topologie jsou tvořeny 32 uzly. Ztráty zpráv jsou modelovány pomocí Bernoulliho distribuce o hodnotách pravděpodobnosti výskytu chyby $p = 0$, $p = 0,5$ a $p = 0,9$. Grafické znázornění výsledků je uvedeno v dizertační práci.

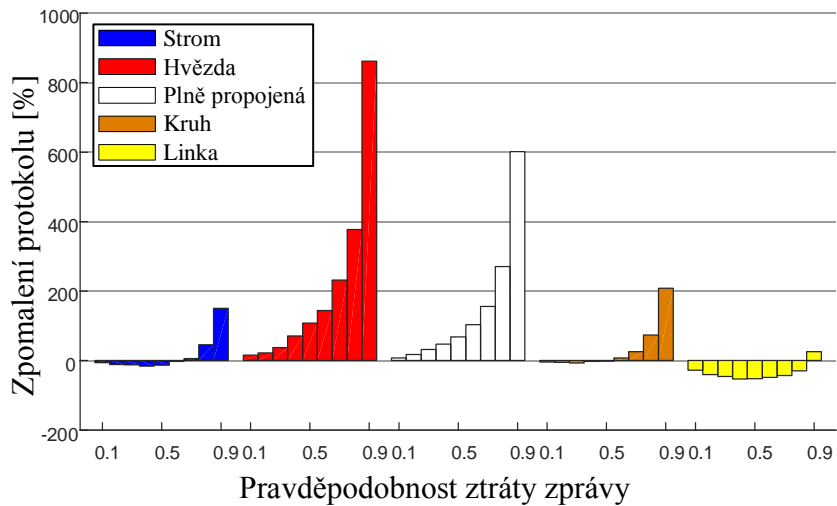
V dalším textu je zkoumán vliv ztráty zprávy na míru konvergence v jednotlivých topologiích. Protože je protokol push-sum stochastickým algoritmem, je každá simulace opakována 100 krát a jako výsledek je poté brán pouze průměr těchto hodnot. Na obrázku Obrázek 4 je znázorněn počet iterací nezbytných pro dokončení běhu protokolu push-sum po změně p . Výsledky dokazují, že plně propojená síť vyžaduje ke své konvergenci nejmenší počet iterací. Tato skutečnost je dána vysokou hustotou propojení jednotlivých uzlů v této topologii.



Obrázek 4: Vliv pravděpodobnosti ztráty zprávy na počet iterací.

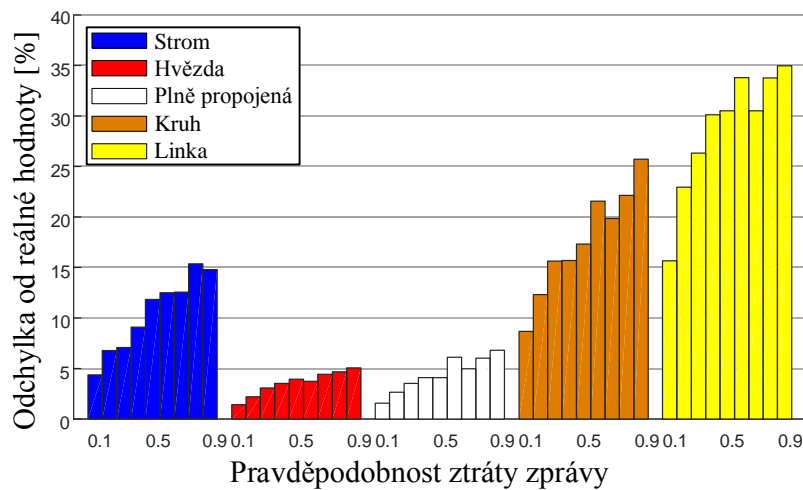
Dalším výsledkem, který lze pozorovat z grafů je, že vyšší hodnota p má za následek vyšší počet iterací v plně propojené síti a také v topologii hvězdy. Oproti tomu v sítích zapojených do kruhu, stromu či linky jsou následky vyšší hodnoty p značně odlišné. V těchto slabě propojených sítích se na základě zvyšující se hodnoty p snižuje počet iterací. Pro $p = 0,4$ dosahuje graf minima a poté počet iterací zase stoupá. Z výsledků lze tedy odvodit, že u slabě propojených topologií ztráta zprávy urychlí výpočetní proces.

Obrázek 5 ukazuje relativní zpomalení procesu využitého protokolu push-sum. Záporné hodnoty indikují jeho zrychlení. Jak je z grafu patrné, ztráta zprávy má nejmenší negativní dopad na topologie, které vyžadují vysoký počet iterací. Jedná se především o topologii linky, která sice konverguje nejpomaleji, ale je vůči tomuto aspektu selhání nejodolnější. Oproti tomu silně propojené topologie typu každý s každým nebo hvězdy, které konvergují oproti slabě propojeným topologiím velmi rychle, jsou ztrátou zprávy podstatně více ovlivněny. Pokud by se pokus zaměřil výhradně na relativní zpomalení protokolu, tak se topologie hvězdy a topologie plně propojené jako reprezentanti silně propojených topologií jeví jako výrazně rychlejší oproti topologii linky jako reprezentanta slabě propojené topologie.



Obrázek 5: Vliv pravděpodobnosti ztráty zprávy na zpomalení protokolu push-sum.

Poslední simulace byla zaměřena na odchytku konečného odhadu od reálného průměru, která může být způsobena ztrátou zpráv. Tak jako v předchozím experimentu byly hodnoty p voleny v rozmezí hodnot 0,1 až 0,9 a experiment byl opakován 100 krát, aby bylo dosaženo vyšší statistické kredibility. Výsledky experimentu pro všechny zvolené topologie jsou k nahlédnutí na obrázku Obrázek 6.



Obrázek 6: Vliv pravděpodobnosti ztráty zprávy na odchytku od reálné hodnoty.

3.2.2 Diskuse výsledků

Při porovnání výsledků s předchozím experimentem lze vidět, že mají poruchy signifikantní negativní dopad na topologie s nižší měrou konvergence. Topologie

hvězdy je nejvíce odolná vůči poruše. Maximální odchylka od reálné hodnoty dosahuje pouze 5%. Experiment tedy prokazuje, že protokol push-sum dosahuje právě v této topologii největší robustnosti. Plně propojená topologie taktéž dosahuje velké odolnosti proti ztrátě zpráv. Maximální odchylka odhadu se pohybuje okolo 7%. Maximální odchylka odhadu zjištěná ve stromové topologii přesahovala hranici 15%. Odchylka odhadu v kruhové topologii dosáhla hodnoty vyšší než 25%. Vůbec nejhorší výsledky byly získány u linkové topologie. U této topologie se maximální odchylka pohybovala nad hodnotou 35%. Přitom bylo i u minimální hodnoty $p = 0,1$ v této topologii dosaženo minimální odchylky okolo 15%, což také představuje vysokou míru odchylky odhadu.

Každopádně, i když se míra konvergence v této topologii vlivem vložených poruch zvyšuje, konečné odchylky odhadu jsou nepřijatelné i pro nízké hodnoty p . Z pokusu lze vysledovat, že zvyšující se pravděpodobnost ztráty zprávy ovlivňuje odchylku odhadu bez ohledu na použitou topologii.

Z výsledků lze pozorovat, že vložená chyba může znamenat pro silně propojené topologie zpomalení výpočetního procesu nebo naopak jeho zrychlení v topologiích slabě propojených. V topologiích, kde byl průběh protokolu push-sum rychlý a zároveň v něm nebyly vloženy chyby, byl pozorován rapidní nárůst počtu iterací. V přímém kontrastu s tímto zjištěním měla odchylka od konečného odhadu přesně opačný charakter. Dostatečná přirozená robustnost protokolu byla pozorována pouze v topologiích hvězdy a plně propojené. V linkové topologii dosáhla maximální odchylka výše 35%, což představuje velmi malou robustnost protokolu push-sum ke ztrátám zpráv. Tímto bylo prokázáno, že protokol nebyl přirozeně odolný ke ztrátám zpráv ve slabě propojených sítích.

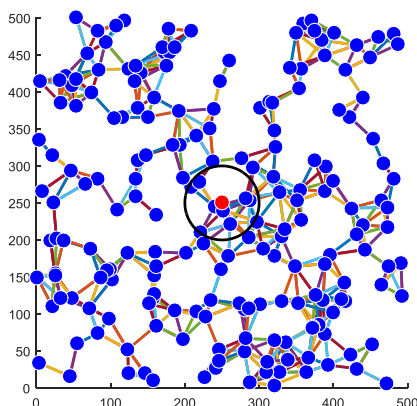
4 NÁVRH NOVÉ METODY DETEKCE PORUCHY V SÍTI

V této kapitole je uveden návrh nové metody detekce poruchy v síti pomocí distribuovaného stochastického algoritmu push-sum. Model detekce poruchy je založen na výpočtu průměru hodnot reflektujících výstupy senzorů instalovaných na přístupovém bodě. V následujících simulacích jsou tyto anomálie reprezentovány nižší

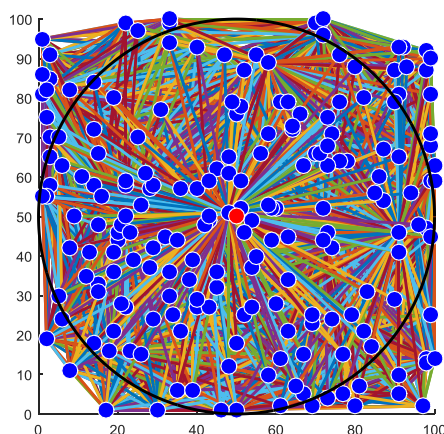
hodnotou parametru kvality sítě pro vložený červený bod.

4.1 Nalezení vhodně konektované topologie

Simulace sítě, jejichž principy byly naznačeny v textu kapitoly 4 dizertační práce, jsou v ní také graficky zobrazeny. Push-sum protokol je aplikován na topologie s různou hustotou uzlů bez jakéhokoliv rušivého elementu. Je vycházeno z předpokladu, že nerušené uzly jsou iniciovány hodnotami parametru kvality signálu v rozsahu 80% až 98%. V prvním experimentu byla iniciační hodnota parametru kvality signálu pro nezarušené uzly zvolena jako konstanta o hodnotě 89,2763%, aby bylo možné prokazatelně určit nejvhodnější hustotu sítě pro další simulace. Uzly zasáhnuté interferencemi mají inicializační hodnotu parametru kvality signálu blízkou hodnotě 50%. Z experimentu vzešel kandidát na testovanou topologii. Nejzřetelnější rozdíly hustoty propojení uzlů jsou viditelné obrázcích Obrázek 7Obrázek 8.



Obrázek 7: Topologie sítě s nízkou hustotou uzlů o velikosti $d = 500$.



Obrázek 8: Topologie sítě s velmi vysokou hustotou uzlů o velikosti $d = 100$.

Pro simulaci sítí s rušivým elementem byl zaveden do zdravé topologie jeden interferující uzel označený v obrázcích červeným bodem. Rušivý element v síti interferoval s okolními body do vzdálenosti $d = 50$. Jeho dosah je v obrázcích vyznačen černým kruhem. Jak je patrné z výše uvedených obrázků. V případě sítě s nízkou hustotou byl ovlivněn tímto rušivým elementem jen malý počet ostatních zdravých uzlů a tedy i numerická hodnota vyhodnocená simulací tomuto faktu odpovídá. I když je rozdíl mezi parametrem kvality signálu v takovéto síti nepatrný a odpovídá hodnotě 1,4228%, lze s jistou pravděpodobností říci, že se v oblasti rušivý prvek vyskytnul. V tabulce Tabulka 3 jsou znázorněny kompletní výsledky tohoto experimentu. Za nejprokazatelnější výsledky lze považovat hodnoty parametru kvality sítě u sítí s velmi vysokou hustotou uzlů. Zde byla detekce poruchy nejzřetelnější.

Tabulka 3: Výsledky detekce interferencí v zarušeném a nezarušeném prostředí ve zvolených topologiích.

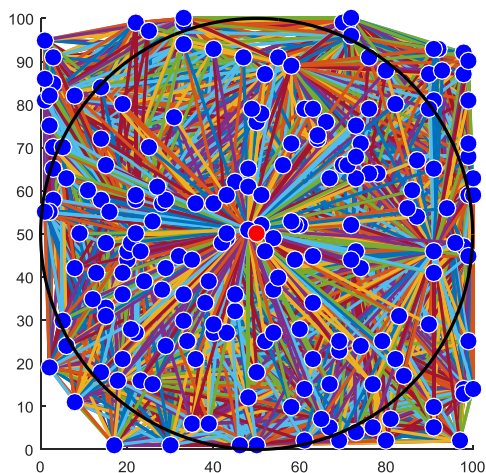
Hustota uzlů v topologii	Parametr signálu [%]	
	Bez rušení	S rušením
Nízká	89,2763	87,8535
Střední	89,2763	85,7707
Vysoká	89,2763	82,2701
Velmi vysoká	89,2763	58,2632

Z experimentů realizovaných na čtyřech rozdílných sítích je zřejmé, že

nejvhodnější volbou pro další experimenty jsou sítě s velmi vysokou hustotou uzlů. Tento způsob propojení uzlů v senzorové síti zároveň reflektuje propojení bezdrátových sítí v praxi.

4.2 Detekce rušivého elementu v síti

Simulace sítě, jejichž principy byly naznačeny v úvodním textu této kapitoly, jsou vyobrazeny v dizertační práci. Čtyři uvedené topologie se liší vzájemným propojením uzlů i jejich rozmístěním proto, aby bylo možné tvrdit, že způsob propojení topologie při této hustotě uzlů nehraje markantní roli. Modré body, stejně jako v předchozím pokusu, definují jednotlivé přístupové body v síti, které jsou vzájemně propojeny barevnými spoji. Tyto spoje jsou barevné právě proto, aby bylo možné identifikovat, který uzel komunikuje se kterým. Push sum protokol je aplikován na sítě s velmi vysokou hustotou uzlů. Nejprve byly simulovány tyto topologie jako nezarušené. Nezarušená síť neobsahovala červený bod uprostřed, ale simulované sítě zůstaly propojeny pro každý scénář stejně. Červený bod uprostřed obrázku představuje nově vložený neznámý přístupový bod interferující s okolními uzly. Černý kruh vyznačuje dosah červeného bodu. Následně je pro dané topologie simulován scénář s aktivním červeným bodem a výsledky jsou vyhodnoceny v tabulce Tabulka 4. Je vycházeno z předpokladu, že nerušené uzly jsou iniciované hodnotami v rozsahu 80%-98%, zatímco uzly zasáhnuté interference mají inicializační hodnotu okolo 50%. V praxi bychom samozřejmě parametr určující sílu signálu mohli dosadit jako výstupní hodnotu senzoru přilehlého k uzlu, který identifikuje. Jeden ze scénářů je ukázán na obrázku Obrázek 9.



Obrázek 9: Topologie sítě 1 s velmi vysokou hustotou uzlů a jedním vloženým rušivým elementem.

Jak lze pozorovat z výsledků v tabulce Tabulka 4, hodnoty parametru signálu určujícího kvalitu příjmu v nezarušené síti, jsou diametrálně odlišné od sítě zarušené. Zatímco nejlepšího výsledku s nejvyšší procentuální hodnotou zisku signálu bylo dosaženo v nezarušené topologii číslo 4, nejvyšší hodnota stejného parametru v zarušeném prostředí byla ve stejné topologii za stejných podmínek nižší o 31,837%. Lze tedy jasně určit, ve které části sítě dochází k rušení. Tímto způsobem je detekována porucha v bezdrátové síti. Experiment tedy prokazuje funkčnost nově navržené metody využití protokolu push-sum pro detekci poruchy příjmu signálu v silně propojených topologiích.

Tabulka 4: Výsledky detekce interferencí v zarušeném a nezarušeném prostředí.

Označení topologie	Parametr signálu [%]	
	Bez rušení	S rušením
Topologie č.1	89,2763	58,2632
Topologie č.2	89,1837	56,7127
Topologie č.3	88,561	56,4959
Topologie č.4	88,5806	56,7436

4.3 Diskuse výsledků návrhu

Ve výše uvedených materiálech byla navržena nová metoda detekce poruchy v síti

s využitím protokolů push-sum pro detekci poruchy v síti na základě odhadu průměru. Nejprve bylo experimentálně ověřeno, pro které sítě je aplikace tohoto postupu nejvhodnější. Z výsledných hodnot bylo zjištěno, že jsou nejvhodnějšími sítěmi k implementaci algoritmu push-sum pro detekci poruch nejvhodnější sítě s velmi vysokou hustotou uzlů. Na nich byly poté aplikovány další simulace. Odhad průměru byl komparován nejprve pro síť bez uzlu způsobujícího interference a následně proběhla aplikace stejných pravidel na síť s přítomností tohoto rušivého elementu. Na základě předchozích výsledků byla zvolena silně propojená topologie. Z dosažených výsledků je patrné, že porucha vložená do dříve neměnné topologie způsobuje snížení parametru určujícího kvalitu signálu okolních uzlů v síti vypočteného na základě odhadu průměru. Emitováním vlastních interferenčních vln na stejné frekvenci červený bod v každé simulované topologii způsobil pokles, či zvýšení hodnoty parametru kvality signálu. Ačkoli není protokol push-sum přímo určen pro výpočet odhadu průměru v dynamicky a často se měnících sítích, bylo prokázáno, že ho lze i přesto využít pro detekci poruch. U bezdrátových sítí totiž v drtivé většině neprobíhají změny topologie tak často, aby byl ovlivněn výpočet hodnot definujících kvalitu signálu. Za změnou topologie v tomto případě můžeme vidět přidání nebo naopak odebrání bezdrátového uzlu v síti.

5 ZÁVĚR A DISKUSE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

V rámci dizertační práce byla navržena nová metoda detekce poruchy v bezdrátové síti. Pro detekci poruchy bylo využito protokolu push-sum. Volba protokolu push-sum proběhla na základě aplikovaného ověření jeho možností. Cíle definované v kapitole 2 se podařilo během řešení naplnit.

Navržený model metody reflektuje potřeby dnešních moderních bezdrátových sítí a poskytuje účinný nástroj pro detekci poruch v souvislosti se vznikajícími interferencemi v bezdrátových sítích. Stále se rozvíjející infrastruktura a technologická pokročilost komunikačních technologií s sebou přináší nové výzvy při implementaci či transformaci telekomunikačních systémů. Vzhledem k vyčerpatelnosti frekvenčních pásem se vývoj bezdrátového přenosového systému potýká s interferencemi mezi používanými pásmy především v jejich hraničních oblastech. Pro predikci a detekci hrozby tohoto druhu poruch v síti jsou již dnes implementovány dohledové systémy společnostmi, které orientují svoji obchodní strategii na datové či televizní přenosy volným prostředím. Dohledové systémy pracují s velmi sofistikovanými metodami získávání, zpracování a reprodukci získaných dat odrážejících aktuální stav celé bezdrátové sítě. Pro získávání dat jsou využívány senzorové systémy propojené do jedné rozsáhlé struktury, která centralizovaně zpracovává výsledky a na základě informace o stavu sítě vyhodnocuje a upravuje parametry sítě, případně po detekci chyby informuje operátora. Pro těžení z databází naplněných daty získanými analýzou sítě jsou veskrze využívány algoritmy k tomuto účelu určené. Celý systém ale v drtivé většině vyžaduje ekonomicky náročný hardware, který je rozprostřen po celé síti a tvoří centrální buňky schopné vytěžit důležité výsledky.

Tato dizertační práce využívá poznatků o dohledových systémech a pomocí nové metody detekce poruchy v síti ukazuje další možnou cestu transformace detekčních algoritmů, která by vedla nejen ke snížení výdajů na hardwarovou strukturu sítě, ale může také umožnit rychlejší odhad stavu sítě, díky rychlé konvergenci požadovaných dat. Pokud je totiž vycházeno z hlavní vlastnosti distribuovaných stochastických algoritmů využívajících principu push, že jsou schopny v počáteční fázi velmi rychle

konvergovat, informace o aktuálním stavu sítě může být získána velmi rychle a s relativně nízkými náklady. Díky robustnosti těchto algoritmů dosahujeme vysoké pravděpodobnosti, že i když nám vypadne několik uzlů v síti kvůli poruše, jsme schopni obdržet informaci ze sítě v požadované kvalitě. Hlavním limitujícím faktorem algoritmů postaveným na principu push se ale může stát míra odhadu, které je potřeba dosáhnout.

Stávající systémy většinou nemusí využívat heuristiku k dokončení svého úkolu a díky tomu je obdržená informace o stavu sítě vždy vypočtena do finální podoby. Právě jistá náhodnost v procesu získávání dat z rozsáhlých sítí vede ke zrychlení celého procesu. Z výše uvedených poznatků o chování sensorových sítích implementovaných do sítí poskytujících služby televizního přenosu a LTE technologií vychází výzkumná část dizertační práce, ve které je nejprve zvolen vhodný distribuovaný stochastický algoritmus, kterým se stal protokol push-sum a na jeho základě jsou prováděny další experimenty.

Součástí první části navrhovaného řešení se stala komparace statistické kredibility reprezentanta v síti, která přinesla výsledky dokazující vliv nárůstu počtu opakování provedení iterací push-sum protokolu na statistickou kredibilitu reprezentanta rychlosti konvergence. Tato rychlost se měnila pro různé běhy protokolu v určených sítích při zachování stejných vstupních podmínek, jakými byla například neměnná topologie sítě nebo stejné počáteční stavy uzlů a jejich váhy, podle teoretických předpokladů. Měření rychlosti konvergence bylo provedeno nejprve pro slabě propojenou topologii, ve které dosahoval protokol pomalejší konvergence. Pomalejší konvergence v síti byla zapříčiněna horší dostupností uzlů a také na základě faktu, že všeobecné šíření informace ve slabě propojených sítích je pomalejší, než v silně propojených sítích. Silně propojené sítě byly v experimentu zastoupeny plně propojenou topologií, která poskytuje nejlepší možnou hustotu spojení mezi uzly. Zde byla simulace orientována především na velmi rychlé šíření informace. Aplikací mnohonásobného propojení sítě byla zvýšena schopnost její konvergence, jak bylo numericky ukázáno v tabulce a vyneseno ve srovnávacím grafu. Pro obě topologie bylo provedeno pět simulací pro různý počet iterací, aby byl důkaz předpokládaných výsledků co nejprůkaznější. Ze získaných dat byla poté ověřena statická kredibilita vypočítáním variačního rozpětí získaných průměrů.

Druhá část návrhu přináší důkazy o využitelnosti protokolu push-sum u nové metody detekce poruchy v bezdrátové síti byla věnována ověření, nakolik je tento protokol robustní, tedy odolný vůči ztrátě zprávy při jeho běhu v síti. S využitím pravděpodobnosti ztráty zprávy při aplikaci Bernoulliho distribuce byly tyto ztráty zpráv substituovány. Postupně byla pro pět různých statických topologií ověřena odchylka konečného odhadu od reálné hodnoty průměru. Změna počtu iterací poté indikovala přizpůsobivost protokolu push-sum při ztrátách zpráv.

Samotný návrh nové metody pro detekci poruchy v bezdrátové síti byl věnován způsobu detekce chyby v síti na základě rušivého elementu vloženého do soustavy. Nejprve byly pomocí simulace potvrzeny předpoklady, že v silně propojené topologii s vysokou hustotou uzlů bude interference mezi rušivým elementem a ostatními uzly nejprůkaznější. Následně byly vytvořeny čtyři scénáře s náhodně rozmístěnými uzly v síti a na tyto uzly byl následně aplikován protokol push-sum, zatímco byly uzly ve vyznačeném kruhu rušeny interferujícím bodem. Analýza výsledků prokázala, že bylo ve všech případech rušení možné detekovat nově vložený interferující element s prokazatelnou pravděpodobností. Numerické výsledky byly poté vyneseny do tabulky a okomentovány. Prokázáním funkčnosti nově navržené metody detekce poruch v síti a následnou diskusí výsledků bylo dosaženo hlavních cílů dizertační práce.

LITERATURA

- [1] 3GPP TR 36.814. *Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects*. V9.0.0. 2010. Dostupné online z: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/36814-900.pdf>
- [2] ČTÚ. *Postup při šetření rušení rádiového příjmu provozem vysílacích rádiových zařízení širokopásmových mobilních radiokomunikačních sítí* [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-01-24]. Dostupné z: https://www.ctu.cz/cs/download/radiove_ruseni/postup_setreni_ruseni_radioveho_prijmu_provozem_lte_24_03_2014_upraveny.pdf
- [3] ČTÚ. *Základní informace o experimentu pro ověření dopadu provozu sítí LTE 800 MHz na příjem signálů DVB-T* [online]. 2012 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: http://www.ctu.cz/cs/download/experimentalni_vysilani/test_emc_dvb-t_lte_800_mhz_09_2012.pdf
- [4] Federal Communications Commission. *Sirius XM Radio Inc - Nature of the Proposed Research and Experimentation*. Dostupné online z: <https://apps.fcc.gov/els/GetAtt.html?id=176132&x=>
- [5] DARGIE, W. a POELLABAUER, Ch. *Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice*. Hoboken, NJ: Wiley, 2010.
- [6] INTANAGONWIWAT, Ch., GOVINDAN, R. a ESTRIN, D. *Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks* [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: https://www.isi.edu/division7/publication_files/directed_diffusion_scalable.pdf
- [7] ESCHENAUER, L., GLIGOR, G. D., *A key-management scheme for distributed sensor networks*. Proceedings of the 9th ACM Conference on Computer and Communications Security, CCS 2002, Washington, DC, USA, November 18-22, 2002. New York, NY: ACM Press, 2002. ISBN 1581136129.
- [8] LYNCH, N., A. *Distributed Algorithms*, 2nd edition. San Francisco, California: Morgan Kaufman, 1997, 904 s. ISBN: 978-1-55860-348-6.
- [9] JANEČEK, J. *Distribuované systémy*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02307-9.

- [10] SPALL, J., C. *Introduction to Stochastic Search and Optimization* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2003 [cit. 2017-08-21]. ISBN 9780471722137.
- [11] KEMPE, D., DOBRA, A. a GEHRKE, J. Gossip-based computation of aggregate information. In: *44th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, 2003. Proceedings* [online]. IEEE Computer. Soc, 2003, s. 482-491 [cit. 2017-07-11]. DOI: 10.1109/SFCS.2003.1238221. ISBN 0-7695-2040-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1238221/>
- [12] FATTA, G., D. Epidemic Protocols in Peer-to-Peer Computing. In: *The Third International Conference on Advances in P2P Systems* [online]. Lisabon, 2011 [cit. 2017-07-12]. ISBN 978-1-61208-173-1.
- [13] Pittel, B. On spreading a rumor. *SIAM Journal of Applied Mathematics*, 47(1):213–223, 1987.
- [14] FEDEWA, N., KRAUSE, E. a SISSON, A. *Spread of A Rumor* [online]. Department of Mathematics, Central Michigan University Mt. Pleasant, **2013** [cit. 2017-07-20]. Dostupné z: <https://www.siam.org/students/siuro/vol6/S01182.pdf>
- [15] SAIDI, A. a MOHTASHEMI, M. Minimum-cost First-Push-Then-Pull gossip algorithm. *2012. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)* [online]. IEEE, 2012, s. 2554-2559 [cit. 2017-07-13]. DOI: 10.1109/WCNC.2012.6214229. ISBN 978-1-4673-0437-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6214229/>
- [16] ITU. Final Acts of the World Radiocommunication Conference (WRC-15). World Radiocommunication Conference, Geneva (Switzerland), 2015. ISBN: 978-92-61-16561-1
- [17] TEKVIĆ, A. LTE in Digital Dividend deployment challenges DVB-C2 case. In *Proceedings of the 54th International Symposium ELMAR, Zadar, 2012*, str. 251–254.
- [18] KANG, D., ZHIDKOV, S. a CHOI, H. An adaptive detection and suppression of co-channel interference in DVB-T/H system. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* [online]. 2010, 56(3), 1320-1327 [cit. 2017-08-22]. DOI: 10.1109/TCE.2010.5606265. ISSN 0098-3063. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5606265/>
- [19] GUIDOTTI, A., GUIDUCCI, D., BARBIROLI, M. a kolektiv. Coexistence and mutual interference between mobile and broadcasting systems. In *Proceedings of the IEEE 73rd Vehicular Technology, Budapešť, 2011*, p. 1–5. DOI: 10.1109/VETECS.2011.5956540

PUBLIKAČNÍ ČINNOST

KENYERES, M., NOVOTNÝ, B. Impact of message losses on push-sum protocol in chosen topologies. *European Scientific Journal*, 2017, roč. 13, č. 7, s. 1-12. ISSN: 1857-7881.

NOVOTNÝ, B. Origin and elimination of interference resulting in coexistence of LTE, DVB-T and SDARS. In *STUDENT EEICT*. Brno: 2017. s. 400-404. ISBN: 978-80-214-5496- 5.

KENYERES, M., NOVOTNÝ, B. Dependency of the Convergence Rate Mean Extent of Variation on the Repetitions Number in Strongly Connected Topologies. In *STUDENT EEICT*. 2016. s. 569-574. ISBN: 978-80-214-5350- 0.

NOVOTNÝ, B., KENYERES, M. Komparace statistické kredibility reprezentanta průměrné rychlosti konvergence protokolu push- sum. *Elektrorevue - Internetový časopis* (<http://www.elektrorevue.cz>), 2016, roč. 18, č. 4, s. 1-4. ISSN: 1213-1539.

KENYERES, M., NOVOTNÝ, B. Dependency of the Convergence Rate Mean Extent of Variation on the Repetitions Number in Weakly Connected Topologies. In *STUDENT EEICT*. 2016. s. 564-568. ISBN: 978-80-214-5350- 0.

OUJEZSKÝ, V.; NOVOTNÝ, B. Reliability and Availability Calculation for the Educational Laboratory. In Proceedings of the 21st Conference STUDENT EEICT 2015. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. s. 581-588. ISBN: 978-80-214-5148- 3.

NOVOTNÝ, B. Knime and Wireshark Data Exploration. *Access Server*, 2015, roč. 2015, č. 3, s. 1-5. ISSN: 1214- 9675.

NOVOTNÝ, B.; SOBEK, J. Extrakce dat pomocí elektromagnetického postranního kanálu. 2014, roč. 16, č. 2, s. 1-7. ISSN: 1213- 1539.

AKTIVITY SPOJENÉ SE STUDIEM

Vedené diplomové práce

2016/2017

Adaptace přístupové sítě pro moderní síťové technologie.

Analýza aplikace vysokorychlostní technologie VDSL2.

Simulace SDN sítě.

Využití distribuovaných a stochastických algoritmů v síti.

2015/2016

Vzdálené ovládání zařízení pomocí moderních komunikačních metod.

Analýza provozu bezdrátové sítě.

2014/2015

Multiplatformní brána pro hlasovou komunikaci v reálném čase.

Předcházení útokům na standard 802.11.

2013/2014

Analýza šifrovacích algoritmů ve standardu 802.11.

Útoky na standard 802.11.

Oponentury

2015/2016

Optimalizace síťového provozu pomocí OMNeT++

Vývoj aplikací pro softwarově definované sítě

Analýza konvergovaných sítí pomocí simulací

Návrh SW přepínače pro softwarově definované sítě

2014/2015

Analýza vysokorychlostních sítí zátěžovým testerem

Návrh přepínače využitelného v moderních komunikačních sítích

2013/2014

Návrh softwaru sloužícího k mapování topologie sítě

Bezpečnostní rizika přepínačů

Výuka laboratorních cvičení:

Vysokorychlostní komunikační technologie.

Přístupové a transportní sítě.

Služby transportních sítí.

Správa laboratoře vysokorychlostních komunikačních systémů.

Další aktivity

Recenze skript:

Analog Technology for joint teaching programme of BUT and VSB-TUO, Koton, J. a Herencsár, N. pro projekt č. CZ.1.07/2.2.00/28.0062

Tvůrba multimediálních výukových materiálů pro předmět BPTS a KPTS, 2014. garant Doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc. (12 přednášek).

ABSTRAKT

Dizertační práce se zabývá výzkumem zaměřeným na detekce poruchy v bezdrátové síti pomocí distribuovaných stochastických algoritmů. Byla navržena a simulována nová metoda detekce poruchy na základě algoritmu push-sum. V rámci plnění cílů práce byla komparována statistická kredibilita reprezentanta průměrné rychlosti konvergence protokolu push-sum a vliv ztráty zprávy během výpočtu na robustnost systému uvedený protokol využívající. Na základě získaných poznatků byla prokázána schopnost navržené metody matematicky odvodit odchylky od reálného průměru hodnot v zadané topologii, a tím byla prokázána či vyvrácena existence abnormality v síti.

ABSTRACT

Doctoral thesis deals with failure detection methods in wireless network using distributed stochastic algorithms. A new method of detecting a fault based on the push-sum algorithm has been designed and simulated. Within the scope of the work objectives, the statistical credibility of the average push-sum protocol convergence rate representative and the effect of message loss during the calculation on the robustness of the system using this protocol were compared. Based on the acquired knowledge, the ability of the protocol to mathematically derive deviations from the real average of the values in the specified topology was demonstrated and thereby the existence of an abnormality in the network has been proved or refuted.