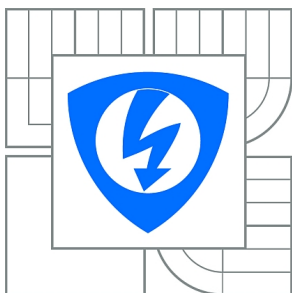


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SIMULÁTOR PROVOZU STANIC S KMITOČTOVÝM SKÁKÁNÍM A VYHÝBÁNÍM SE KOLIZÍ

SIMULATOR OF STATIONS WITH FREQUENCY HOPPING AND COLLISION AVOIDANCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

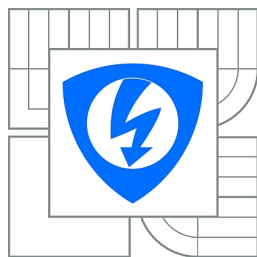
Ing. DINARA AKKIZOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL BURDA, CSc.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Studentka: Ing. Dinara Akkizová

ID: 123414

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Simulátor provozu stanic s kmitočtovým skákáním a vyhýbáním se kolizí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte a popište rádiový systém stanic s kmitočtovým skákáním a vyhýbáním se kolizí (systém FH/CA). Na tomto základě navrhnete počítačový program pro simulaci provozu rádiového systému FH/CA, který pracuje v pásmu využívaném dalšími systémy FH/CA. Simulační program realizujte pomocí software MATLAB a ověřte i správnost programu. Pomocí simulátoru získáte data o intenzitě vzájemného rušení systémů FH/CA pro vybrané scénáře.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Neuschl, Š. aj.: Modelovanie a simulácia. Alfa, Bratislava 1988.
- [2] Doňar B., Zaplatílek K. : MATLAB pro začátečníky. BEN, Praha 2003.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Karel Burda, CSc.

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ANOTACE

Cílem diplomové práce je seznámit se a prostudovat problematiku systému s kmitočtovým skákáním a vyhýbáním se kolizí (systém FH/CA).

Dále je v práci navrhnout počítačový program pro simulaci provozu rádiového systému FHCA, který pracuje v pásmu využívaném dalšími systémy FH/CA. Tento simulačním program je vytvořen v programu MATLAB a testuje správnost algoritmu. Pomocí simulátoru jsou získána data o intenzitě vzájemného rušení systémů FH/CA pro vybrané scénáře. Tato práce je rozdělena do pěti částí: v první části je popsán systém hromadné obsluhy, druhá část se zabývá rádiovými systémy s kmitočtovým skákáním FH/CA, třetí část popisuje simulační model. Čtvrtá část obsahuje verifikaci modelu a poslední páté části jsou zobrazeny výsledky.

Klíčová slova: Kmitočtové skákání s vyhýbáním se kolizí, síla signálu indikace, technika adaptivního frekvenčního skákání, systémy hromadné obsluhy (SHO), Markovovské procesy.

ABSTRACT

The master's thesis aims to introduce and study the issue of frequency hopping with collision avoidance (FH/CA). On this basis, design a computer program for simulating the operation of a radio system FHCA, who works in the band used by other systems FH/CA. This simulation program using MATLAB software to implement verify the correctness of programs. Use simulator to obtain data about the intensity of interference systems FH/CA for the chosen scenario. This work consists of five parts: the first part consists of describing the queuing system, the second part of the description of the radio frequency system with collision avoidance FH / CA, the third part of the description of the simulation model. The fourth part includes verification of the model in the fifth and last section inspects results are shown.

Keywords: Frequency hopping with collision avoidance (FH/CA), received signal strength indication, Adaptive Frequency Hopping, queuing systems, Markov process.

AKKIZOVÁ, D. *Simulátor provozu stanic s kmitočtovým skákáním a vyhýbáním se kolizím*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 47 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Karel Burda, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Simulátor provozu stanic s kmitočtovým skákáním a vyhýbáním se kolizí“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych na tomto místě poděkovala vedoucímu práce panu doc. Ing. Karlu Burdovi, Csc.
Za vedení a metodickou pomoc, cenné rady a za poskytování konzultací při zpracování
diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Obsah

Úvod.....	8
1. Systémy hromadné obsluhy	9
1.1. Markovovské procesy	14
1.2. Poissonův proces	17
1.3. Klasifikace systémů hromadné obsluhy	18
1.4. Uzavřené systém M/M/n	19
2. Systémy s rozprostřeným spektrem	20
2.1. Klasifikace systému s rozprostřeným spektrem	22
2.2. Kmitočtové skákání FH (Frequency Hoping)	26
3. Simulační model	31
4. Verifikace modelu	34
5. Výsledky	36
Závěr.....	38
Literatura.....	39
Přílohy	41

Úvod

V současné době bezdrátové komunikační systémy hodně často využívají techniku rozprostření spektra přenášeného signálu, které má velké výhody hlavně díky odolnosti proti úzkopásmovému rušení. Jednou z efektivnějších metod je technika kmitočtového skákání a vyhýbání se kolizi.

Cílem diplomové práce je seznámit se a prostudovat problematiku systému s kmitočtovým skákáním a vyhýbáním se kolizí (systém FH/CA). Hlavní částí diplomové práce je navrhnout počítačový program pro simulaci provozu rádiového systému FH/CA, který pracuje v pásmu využívaném dalšími systémy FH/CA. Tento simulačním program je realizován pomocí software MATLAB. Pomocí simulátoru získat data o intenzitě vzájemného rušení systémů FH/CA pro vybrané scénáře.

Tato práce obsahuje pět částí: první část popisuje systém hromadné obsluhy, druhá popisuje rádiové systémy s kmitočtovým skákáním FH/CA, třetí část obsahuje simulační model. Ve čtvrté části popisuje verifikaci modelu a poslední páté části jsou zobrazeny některé výsledky.

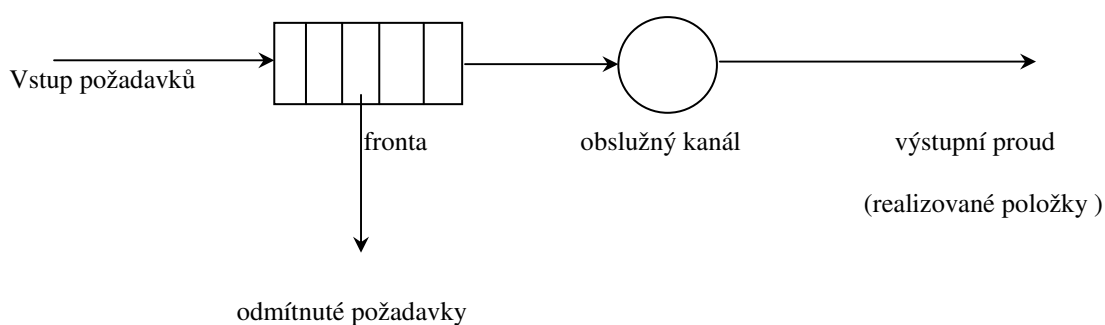
1. Problematika počítačové simulace systému hromadné obsluhy

Proces obsluhování náhodně i hromadně vznikajících požadavků na obsluhu se nazývá proces *hromadné obsluhy*. Předmětem teorie hromadné obsluhy, někdy také označované jako teorie front (Queueing theory), je matematické rozpracování a analyzování systémů poskytujících hromadnou obsluhu nějakých zařízení. Systém hromadné obsluhy (SHO) je obsluhové zařízení poskytující obsluhu určitého druhu. Do tohoto zařízení vstupují zákazníci, požadující konkrétní obsluhu. Zde je nutné podotknout, že pod pojmem zákazníci se rozumí nejen lidé, ale i neživé věci. Proto se také někdy místo pojmu zákazníci používá termín požadavky na obsluhu [6].

Po obsloužení zákazníci opouštějí systém hromadné obsluhy. Obsluhové zařízení se může skládat z jednoho nebo více míst, na kterých se poskytuje konkrétní obsluha. Tato místa se nazývají linky obsluhy [11].

Systém hromadné obsluhy je základní teoretický model pro realizaci obslužných procesů. SHO je tvořený obslužnými kanály, které poskytují obsluhu požadavkům přicházejícím ve vstupním proudu. Po ukončení obsluhy trvající stanovenou dobu se kanál uvolňuje a realizovaný požadavek odchází ve výstupním proudu.

Pokud v okamžiku příchodu požadavku není volný žádný kanál, řadí se požadavek do fronty [1].



Obr. 1.1: Systém hromadné obsluhy

Ve všech případech jsou systémy hromadné obsluhy tvořené těmito prvky:

1. vstupní proud,
2. fronta (řada),
3. obslužné kanály,
4. výstupní proud.

Vzhledem k velké různorodosti využití systémů hromadné obsluhy je potřeba chápat pojmy obslužný kanál, požadavek a obsluha dost všeobecně. Uvedené pojmy si ilustrujme na několika příkladech:

požadavek	obslužný kanál	obsluha
telefonní účastník	centrála	spojení
vozidlo	křižovatka	přechod
výrobek	obráběcí stroj	obrábění
pokažený stroj	opravář	oprava
kupující	pokladna	zaplacení
nemocný	lékař	vyšetření

Tab.1.1: Příklady systémů hromadné obsluhy

Systémů hromadné obsluhy lze modelovat dvěma základními způsoby – buď pomocí simulačních modelů, nebo pomocí analytických stochastických modelů.

Výhodou prvních je relativní jednoduchost výpočtů, výhodou druhých je jejich obecnost. Modely hromadné obsluhy využívají teorii pravděpodobnosti, matematickou statistiku a teorii náhodných funkcí.

Při použití systémů hromadné obsluhy na modelování nějakých objektů nás obecně zajímá efektivnost jejich činnosti. Pod pojmem efektivnost systému můžeme rozumět průměrný počet obsloužených požadavků vzhledem k celkovému počtu příchodů požadavků, průměrný čas práce jednotlivých kanálů, průměrný čas čekání požadavků v řadě, pravděpodobnost toho, že požadavek nebude stát v řadě, průměrnou délku řady, atd. To, které veličiny případně jejich kombinace zvolíme, bude určené formulací daného problému, přičemž se v praxi zřejmě uplatní hlavně ekonomická hlediska. Určením závislosti veličin charakterizujících činnost systému hromadné obsluhy struktur systému se zabývá teorie hromadné obsluhy [11].

Na popis systému hromadné obsluhy potom vyžadujeme znalost vlastností jeho prvků.

Vstupní proud je posloupnost příchodů požadavků, které následují jeden za druhým v nějakých časových okamžicích. Požadavky přitom mohou přicházet jednotlivě nebo ve skupinách a počet všech možných požadavků může být omezený nebo je ho možné považovat za omezený. Časové intervaly mezi po sobě následujícími příchody mohou být pravidelné nebo náhodné. V případě náhodných příchodů vyžadujeme pravděpodobnostní charakteristiky vstupního proudu včetně toho, jestli se mění v čase [11].

V řadě čekají na obsluhu požadavky, které při svém příchodu nemohli být ihned obsloužené. Pravidlo, podle kterého vybíráme požadavky z řady na obsluhu, se nazývá *disciplína čekání*. Nejznámějším způsobem výběru požadavků na obsluhu je výběr v pořadí jejich příchodu. Takovouto řadu potom nazýváme *frontou*. Požadavky však mohou být z řady vybírané i jiným způsobem, tj. Poslednímu požadavku bude obsluha poskytnutá jako první – inverzní fronta. Dalším možným způsobem je náhodný výběr, případně výběr podle daných pravděpodobností. Ve výpočetních systémech je často používaným systémem fronta s přednostmi (*prioritní fronta*). Požadavky jsou rozdělené podle jednotlivých předností do kategorií tak, že v rámci jedné kategorie jsou si rovnocenné a jejich výběr na obsluhu probíhá v pořadí jejich příchodu. Mezi jednotlivými kategoriemi je však vztah přednosti v tom smyslu, že požadavek s vyšší předností bude obsloužený dříve, než všechny požadavky s nižší prioritou, tedy bez ohledu na jejich příchod. Osud požadavku nižší kategorie, která je obsluhována v čase příchodu požadavku vyšší kategorie, může být tento:

1. jeho obsluha je normálně dokončená – slabé (relativní) přednosti,
2. jeho obsluha je přerušena a kanál se poskytne požadavku s vyšší předností - silné (absolutní) přednosti, přičemž

- a) požadavek s takto přerušenou obsluhou odchází ze systému,
- b) požadavek se vrací do řady, a když přijde na řadu, jeho obsluha
 - pokračuje tam, kde byla přerušena,
 - se začne znova.

Podle přípustné délky řady rozeznáváme systémy s omezenou řadou a systémy s neomezenou řadou. V prvním případě, jakmile řada dosáhla maximální délky, jsou požadavky nucené opustit systém bez obsluhy. Speciální systémy s omezenou řadou jsou systémy s nulovou délkou řady, které nazýváme systémy hromadné obsluhy bez čekání.

Obsluha v systémech hromadné obsluhy může být poskytována jedním nebo více obslužnými kanály. Čas trvání obsluhy může být pevný, stejný pro všechny požadavky nebo závislí na ostatních požadavcích nebo hodnotách. V posledním případě musíme znát pravděpodobnost charakteristiky času obsluhy.

Při použití systémů hromadné obsluhy na modelování nějakých objektů pro nás bude zajímavé efektivnost jejich činnosti.

Pod efektivností činnosti systému rozumíme průměrný počet obsloužených požadavků vzhledem na celkový počet příchoďů požadavek, průměrný čas čekání požadavku v řadě, pravděpodobnost, že požadavek nebude stát v řadě.

To, které veličiny (případně jich kombinaci) zvolíme, bude určeno formulací daných problémů, přičemž se do značné míry uplatní i ekonomické hledisko.

Určením závislosti veličin charakterizujících činnost systému hromadné obsluhy od struktury systému se zabývá teorie hromadné obsluhy.

Déle jsou popsány základní vědomosti hromadné obsluhy a jich používání v modelování výpočtových systémů a taky prostředky potřebné na řešení uvedených úloh metodou simulace systémů.

V posledním případě musíme opět znát pravděpodobnostní charakteristiky času obsluhy [7].

Výstupní proud je posloupností okamžiků odchodů požadavků ze systému. Obecně jsou vlastnosti výstupního proudu různé od vlastností vstupního proudu. Výstupnímu proudu je důležité se věnovat hlavně v případech, kdy je vstupním proudem dalšího systému hromadné obsluhy [11].

Při návrhu SHO na sebe narážejí dva protichůdné požadavky:

- Zákazník chce čekat co nejkratší dobu, vyžaduje tedy největší kapacitu;
- Snaha redukovat náklady a minimalizovat počet obslužných kanálů.

1.1. Markovovské procesy

Markovovské procesy vznikají při jednom z nejdůležitějších faktorů, které mají být brány v úvahu při optimálním rozhodnutí, jde o náhodný faktor.

Jak s přihlédnutím ke „kolize“, náhodné jevy mají vlastnost statické stability. To znamená, že náhodné jevy dodržují určité statické zákony, že tyto požadavky nejsou nutně brát v úvahu nejistotě [1].

Markovovské procesy jsou pojmenované po slavném ruském matematikovi Andreji Markovovi (1856-1922), který jako první začal studium pravděpodobnosti v rámci náhodných proměnných a vytvořil teorii, kterou lze nazvat „dynamická pravděpodobnost“. Později z této teorie náhodných procesů vyšly vědy jako: teorie difúzních procesů, teorie spolehlivosti, teorie front, atd. [1].

Teorie Markovovského procesu a její aplikace jsou široce používány v nejrůznějších oblastech věd jako je mechanika, fyzika, chemie, atd.

Vzhledem k relativní jednoduchosti a jasnosti matematického aparátu, vysoké spolehlivosti a přesnosti řešení, si Markovské procesy získaly pozornost odborníků podílejících se na výzkumu teorie optimálního rozhodování.

I přes výše uvedenou jednoduchost a přehlednost, praktické aplikace teorie Markovových řetězců vyžadují znalost některých pojmů a orientaci v problematice tomu se budu věnovat nejdříve.

Příchody požadavků do systému popíšeme procesem $\{N(t)|t \geq 0\}$. $N(t)$ je počet zákazníků, kteří přišli do systému v časovém intervalu délky t .

Proces se řídí vztahem:

$$P(N(s+t)-N(s)=k)=P(N(t)=k) \text{ , kde } s \geq 0 \text{ a } t > 0.$$

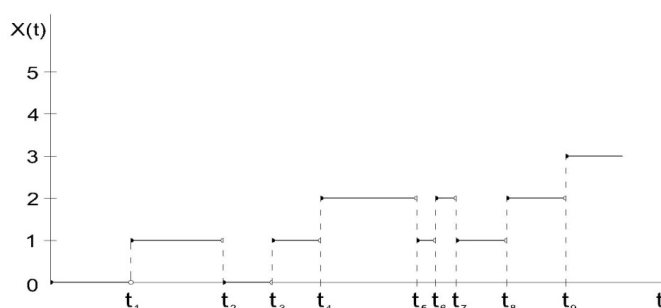
V časovém intervalu o délce t přijde k požadavků (zákazníků) [1].

Činnost celého systému však mimo četnosti příchodu požadavků určuje i délka jejich obsluhy a následný odchod ze systému. *Stav systému* tedy můžeme charakterizovat počtem

požadavků $X(t)$, které jsou v okamžiku t v systému, či už jsou obsluhované kanály nebo čekají na obsluhu v řadě.

Jestliže opět uvažujeme náhodné příchody a náhodný čas obsluhy, tak pro pevné t je $X(t)$ náhodnou veličinou a činnost celého systému hromadné obsluhy charakterizuje náhodný proces $\{X(t) | t \geq 0\}$.

Při konkrétní realizaci tohoto procesu nemusí být funkce X neklesající funkcí času, ale bude obsahovat nezáporné hodnoty, pokud požadavky přicházejí a odcházejí.



Obr. 1.2: Realizace náhodného procesu $\{X(t) | t \geq 0\}$

Podíváme se na příklad, který dobře vysvětluje realizaci procesu $\{X(t) | t \geq 0\}$. Je na Obr.1.2, kde t_k , $k = 1, 2, \dots$, jsou okamžiky, ve kterých dochází ke změně hodnot X . K popisu příchodu požadavků do systému znalosti posloupnosti okamžiků t_k stačilo na určení funkce X . Proces $\{X(t) | t \geq 0\}$ je teď všeobecný. Závislost náhodné veličiny $X(t)$ na hodnotách předchozích náhodných veličin vyjádříme pomocí podmíněné pravděpodobnosti ve tvaru:

$$P(X(t)=k | X(s_n)=j_n, X(s_{n-1})=j_{n-1}, \dots, X(s_1)=j_1)$$

Kde $k, j_1, j_2, \dots, j_n$ jsou celá nezáporná čísla, n je celé kladné číslo a $s_i < t$ při:

$i = 1, 2, \dots, n$. Tento náhodný proces se nazývá *Markovovský*.

To znamená, že při rozdělení pravděpodobnosti náhodnou veličinou $X(t)$ přináší znalost několika předchozích hodnot X právě jenom informace jako časové znalosti poslední z nich.

1.2. Poissonův proces

Poissonův proces je speciálním typem stochastických procesů, které se mimo jiné používají v modelech hromadné obsluhy. Jedná se o takový proces, u kterého jsou změny stavů možné jen přechodem do nejbližšího stavu. [22] Dal popsané stručně problematika Poissonova procesu. Uvažujme nějakou událost, která se vyskytuje v krátkém čase (např. Počet hromů při bouři za nějaký časový okamžik). V časovém intervalu nastane právě jedna událost s pravděpodobností $\lambda \Delta t$ a více než jedna s pravděpodobností $o(\Delta t)$ nezávisle na t a na počtu událostí nastalých v intervalu $(0; t)$.

Pro Poissonův proces jsou tedy charakteristické následující znaky:

1. Nezávislost – počet jevů připadajících na určitý časový interval nezávisí na počtu jevů v libovolném jiném časovém intervalu.
2. Intenzity pravděpodobností přechodu (nezávisí na čase)
3. Při dostatečně malém Δt a konstantní hodnotě λ se pravděpodobnosti přechodu ze stavu n do stavu $n+1$ v intervalu $(t, t+\Delta t)$ rovná se $P(t, t+\Delta t) = \lambda \Delta t + o(\Delta t)$ - více než jedna s pravděpodobností $\lambda \Delta t + o(\Delta t)$ nezávisle na t a na počtu událostí nastalých v intervalu $(0; t)$. Na základě uvedeného postupu [22] lze konstatovat – pravděpodobnost, že v okamžiku t se proces X_t nachází ve stavu n ($X_t = n$) má Poissonovo rozdělení s parametrem λt . Poissonovo rozdělení je zde rozdělením počtu změn za dobu t . [22]

1.2. Klasifikace systémů hromadné obsluhy

Stručně a přehledně se systémy hromadné obsluhy charakterizují kombinací písmen a čísl ve tvaru $A/B/C$. Na místech A a B jsou písmena, která určují náhodný proces popisující příchod požadavků a rozdělení doby obsluhy, C je přirozené číslo vyjadřující počet obslužných kanálů. Písmena na pozicích A a B jsou odvozená od názvů, resp. Význačné vlastnosti rozdělení intervalů mezi po sobě následujícími příchody a dob obsluhy. Nejpoužívanější písmena jsou:

M – exponenciální rozdělení,

D – deterministické intervaly a doby obsluhy, E_k – Erlangovo rozdělení s parametrem k , G – libovolné rozdělení [13].

Takovýto způsob specifikace nám však neurčuje všechny charakteristiky systému hromadné obsluhy. Nevíme například, jaká je disciplína čekání v řadě, ani jestli je počet požadavků (a tím i délka řady) v systému omezený či nikoli. Protože jde o důležité informace o systému, rozšiřuje se označování systémů různým způsobem, např. Na tvar $A/B/C/D/E$, kde D je číslo označující maximální počet požadavků v systému a E reprezentuje disciplínu čekání. Disciplína čekání se označuje takto:

$FIFO$ – první požadavek je první obsloužený (fronta), $LIFO$ – poslední požadavek je první obsloužený (inverzní fronta), $SIRO$ – obsluha v náhodném pořadí,

$při$ – obsluha podle předností (prioritní fronta), GD – libovolná disciplína čekání.

Toto rozšířené označení však nehovoří nic například o tom, jestli požadavky po skončení obsluhy odcházejí ze systému, nebo jestli po nějakém čase vyžadují opět obsluhu na stejném obslužném kanálu. Jestliže je počet takovýchto požadavků v systému konstantní, mluvíme o uzavřených systémech hromadné obsluhy.

Systémy, ve kterých je rozdělení intervalů mezi po sobě následujícími příchody požadavků i rozdělení dob jejich obsluhy exponenciální se nazývají Markovovské [1].

1.3. Uzavřené systém M/M/n

V celé předchozí části textu jsme předpokládali, že zdroj požadavků je neomezený.

Jesli že dostat otázku, odkud přichází požadavky do systém hromadné obsluhy. Štícha jsme předpokládali že existují nějaký neomezený stroj požadavků a po skončení obsluhy požadavky v systému , respektive po její odmetnutí, znova předpokládáme nic o tom co se s ním dal bude dělat.

Tychlé systémy hromadné obsluhy se pak nazývají otevřené a podud systém lépe nespecifikujeme , mluvíme o otevřeném systému.

V praxi se však vyskytují důležité systémy ve kterých obsluhu vyžaduje koneční počet požadavku , přičemž po skončení obsluhy tuhle po nějakým časem opět požadují. Ve višší popsanem kapitolách jsme uvedli , že požadavkém může byt stroj vyžadující pravu od opravaře, který je obslužním kanálem.

Tudíž následkem tohoto předpokladu byla nezávislost intenzity vstupu požadavků na stavu, ve kterém se systém nacházel. V případě uzavřených (cyklických) systémů hromadné obsluhy, které si zde pro zajímavost ukážeme, je zdroj požadavků omezen respektive jinak řečeno, obsloužené požadavky znova přecházejí do zdroje požadavků. Jelikož se tedy požadavky po obsluze opět stávají potenciálními požadavky ve zdroji požadavků (jdou znova do obsluhy), intenzita obsluhy ovlivňuje intenzitu vstupu požadavků.

Taky že v praxi se lze setkat s uzavřenými modely hromadné obsluhy například v oblastech opravárenství a údržby různých strojů a zařízení. Typickým příkladem je stanovení počtu strojů, které bude v nějaké firmě opravovat či udržovat jeden (jednoduchá obsluha) nebo více (vícenásobná obsluha) pracovníků. Požadavek, který vyžaduje při poruše nebo selhání zásah pracovníka, se po skončení obsluhy opět stává potenciálním požadavkem.

2. Systémy s rozprostřeným spektrem

Rozprostřené spektrum je způsob rádiového vysílání, při kterém se používá modulace pseudonáhodným kódem, který je nezávislý na přenášených datech. Využívá se pro rozprostření energie signálu do šířky pásma mnohem větší, než je šířka pásma signálu nesoucího informaci. V přijímači se odstraní rozprostření pomocí synchronní repliky pseudonáhodného kódu [15].

V praxi různými způsoby je možné realizovat radiokomunikační systémy s rozprostřeným spektrem a rozprostřeným spektrem. Dále patří nejčastěji používané varianty:

- a) systémy s přímou modulací kódovou posloupností,
- b) systémy se skokovou změnou kmitočtu nosné vlny,
- c) systémy s lineární kmitočtovou modulací,
- d) systémy založené na tzv. metodě L časových skoků,
- e) systémy kombinované, vzniklé vhodným spojením dvou L i více systémů elementárních.

Uvedené se systémy svým zapojením i principy činnosti vzájemně liší, mají jednu společnou charakteristickou vlastnost. Požadovaného rozšíření kmitočtového spektra signálu na vysílací straně se dosahuje pomocí určitého kódovacího signálu respektive přídavné modulace, které nikterak nesouvisí s modulačním signálem nesoucím informaci. Na přijímací straně se potom vzniklý širokopásmový signál nejprve zbaví přídavné modulace, čímž se přemění opět na signál úzkopásmový. Ten se poté již běžnými způsoby demoduluje. Vlastní proces rozprostření kmitočtového spektra a jeho následující komprese však může nejlépe objasnit konkrétní popis několika výše zmíněných systémů.

Rozprostřené spektrum je způsob rádiového vysílání, při kterém se používá modulace pseudonáhodným kódem, který je nezávislý na přenášených datech. Využívá se pro rozprostření energie signálu do šířky pásma mnohem větší, než je šířka pásma signálu nesoucího informaci. V přijímači se odstraní rozprostření pomocí synchronní repliky pseudonáhodného kódu [15].

Techniky rozprostřeného spektra se užívá také u systémů se skokovou změnou kmitočtu nosné (frequency-hopping systems), které vlastně představují variantu modulace M-FSK, tj. Vícestavového klíčování kmitočtovým posuvem. Podstata systému založeného na metodě

časových skoků – označovaného také jako systém s impulsově časovou modulací – spočívá v tom, že se do modulátoru vysílače realizujícího určitý typ diskrétní (impulsové) modulace přivádí modulační signál. Modulátor ale nepracuje spojitě v čase, nýbrž je zapínán a vypínán jistým pseudonáhodným kódovacím signálem. Tím vzniká zdánlivě nepravidelné vysílání po krátkých časových úsecích, mezi nimiž je vysílače umlčen.

Systémy s rozprostřeným spektrem vznikají vhodným spojením dvou systémů základních. V praxi se nejvíce uplatňuje kombinace systému s přímou modulací kódovou posloupností a systému se změnou kmitočtu nosné, dále systému s impulsově časovou modulací a systému se změnou kmitočtu nosné a konečně systému s impulsově časovou modulací a systému s přímou modulací. Kombinované systémy mají tu výhodu, že mohou vykazovat vlastnosti, které jsou u elementárních systémů nedosažitelné.

2.1. Klasifikace systému s rozprostřeným spektrem

Rozprostřené spektrum [6] je typ modulace, která rozprostře data tak, aby mohla být přenesena celým dostupným frekvenčním pásmem. Děje se tak v širším pásmu než je ve skutečnosti pro přenos potřebné. První systém rozprostření spektra byl navržen pro bezdrátové digitální komunikace tak, aby překonal útoky, kdy někdo zamýšlí přerušit komunikaci. Tuto modulaci je velice nesnadné detekovat, o takto modulovaném signálu se říká, že je podobný šumu, a stejně těžké je signál rušit. Systém byl navržen pro vojenské použití, avšak si našel velké uplatnění v civilní sféře. Jeho aplikace je typická pro bezdrátové telefony, bezdrátové sítě LAN(Local Area Network), Bluetooth a systémy PLC. Většinou neexistuje žádná kontrola ohledně vysílání a systém pracuje v přítomnosti silných interferencí s jinými komunikačními systémy. V tomto případě není rušení úmyslné, ale elektromagnetické interference mohou způsobovat rušení systémů, které nejsou modulované rozprostřeným spektrem, ale pracují ve stejném pásmu. [16]

Běžné techniky rozprostření spektra jsou: DS (Direct Sequence),

FH (Frequency Hopping),

TH (Time Hopping)

MC (Multi Carrier).

Samozřejmě jde tyto techniky různě kombinovat a vytvořit hybridní systém, který má výhody rozdílných technik. Pro PLC se hodí pouze DS a FH. Rozvedeme si pouze systém DSSS.

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) [6] je technika přímého rozprostření spektra. Je jednou z nejpoužívanějších metod pro rozšíření spektra při bezdrátovém přenosu. Pracuje tak, že každý bit určený k přenosu, je nahrazen sekvencí několika bitů (tzv. Chipů). Tyto sekvence mají většinou pseudonáhodný charakter. Na nosný signál je pak modulována pouze tato sekvence bitů. Uměle se tak zavádí nadbytečnost (redundance), která se při datových přenosech používá pro větší spolehlivost přenosů. Zde je ale důvod jiný. Signál je díky této redundanci rozprostřen do větší části spektra a díky tomu je méně citlivý na rušení.

Ostatní uživatelé vidí signál jako náhodný šum a bez znalosti mechanismu vytváření je velice obtížné demodulovat přenášená data. Tato modulační technika se používá v bezdrátové síti Wifi nebo v navigačním systému GPS. Všichni tyto techniky mají určité výhody před úzkopásmovým vysíláním například odolnost vůči úzkopásmovému rušení.

Na přijímací straně přijímač rozloží takové rušení a tím pádem ho můžeme zanedbat. Vzroste i odolnost vůči odposlechu. Rozprostřený signál vypadá jako šum, proto ho lze jen těžko zachytit. Systémy z rozprostřeným spektrem mohou sdílet kmitočtové pásmo s dalšími systémy z minimální interferencí.

Wifi je v informtice označení pro několik standardů IEEE 802.11 popisujících bezdrátovou v počítačových sítích (též *Wireless LAN*, *WLAN*). Samotný název WiFi vytvořilo Wireless Ethernet Compatibility Alliance. Tato technologie využívá bezlicenčního frekvenčního pásma, proto je ideální pro budování levné, ale výkonné sítě bez nutnosti pokládky kabelů. Název původně neměl znamenat nic, ale časem se z něj stala slovní hříčka *wireless fidelity* (bezdrátová věrnost) analogicky k HI-FI (*high fidelity* – vysoká věrnost).

Global Positioning systém, zkráceně GPS, je vojenský globální družicový polohový systém provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických, s jehož pomocí je možno určit polohou a přesný čas kdekoliv na Zemi nebo nad Zemí s přesností do deseti metrů. Přesnost GPS lze s použitím dalších metod ještě zvýšit až na jednotky centimetrů. Část služeb tohoto systému s omezenou přesností je volně k dispozici i civilním uživatelům.

FHSS (frequency hopping spread spectrum) je jedna z metod přenosu v rozprostřeném spektru. Její princip spočívá v přeskakování mezi několika frekvencemi při přenosu bitu nebo bitů. Existují 2 verze:

- ♣ Fast Hopping (FFH) Ke skokům dochází i v průběhu přenosu jednoho bitu.
- ♣ Slow Hopping (SFH) Přenese se několik bitů než dojde ke změně frekvence.

FHSS je velmi silná technologie, s malým vlivem od zvuky, odrazy, dalších rozhlasové stanice nebo jinými faktory prostředí. Kromě toho, že početsoučasně aktivních systémů ve stejné zeměpisné oblasti (umístěny systémy) je podstatně vyšší než stejného počtu pro systémy DSSS.

Všechny tyto vlastnosti činí technologii FHSS jeden být vybrán pro zařízení sloužící k pokrývají velké plochy, kde je velké množství umístěny systémy nezbytné a kde je používání směrové antény s cílem minimalizovat faktory ovlivňují životní prostředí je nemožné. Typické aplikace pro FHSS patří mobilní nasazení pro pevné širokopásmový bezdrátový přístup (BWA-Broadband Wireless Access - širokopásmový bezdrátový přístup), kde použití DSSS je prakticky nemožné, protože jeho omezení.

Víme že fyzická vrstva má k dispozici 22 modelů (skokové sekvence), definováno 79 kanálů v okolí frekvence 2,4 GHz. Každý z těchto kanálů zabírá šířku pásma 1 MHz a

„přeskakuje“ minimálně 2,5 krát za sekundu (typicky 20krát). Datová zpráva je tak vysílána pomocí mnoha nosných frekvencí „hops“. Vysoké spolehlivosti je dosaženo díky tomu, že nepotvrzené tj. chybně přenesené rámce jsou znovu přenášeny s jinou nosnou frekvencí tj. v dalším hopu. Umístění více systémů v jednom místě je umožněno použitím různých sekvencí v každém systému.

FHSS umožňuje koexistenci více systémů (System Collocation) v jedné lokalitě. Teoreticky až 26, prakticky cca 15. FHSS má menší problémy s vícecestným šířením signálů. DSS Spracuje s vyšší modulační frekvencí, tím pádem s kratšími symboly a je tak více citlivý na různá zpoždění přijímaných signálů.

FSSS má definovaný vlastní inicializační sekvenci bitů (hlavičku – header), aby přijímač byl schopen rozpoznat použitý modulační formát a očekávanou délku datového řetězce. Tyto hlavičky jsou vždy přenášeny na rychlosti 1,6 Mb/s a obsahují pole, na základě kterého následná rychlost přenosu dat může být zvýšena na 3,2 Mb/s.

THSS (Time-Hopping spread spectrum) čas skákání je jedním z techniky rozprostřeného spektra. V době poskakování, období a pracovní cyklus pulzu (dopravce) se mění v pseudo-náhodné způsobem podkontrolou kódované sequence. Času poskakování je urazit efektivně využívat s skočení frekvence se tvořila hybridní čas TDMA (Time Division Multiple Access).

MC (Multi Carrier) úspěch techniky rozprostřeného spektra pro druhé-generace mobilních rádiových a OFDM pro digitální vysílání a bezdrátové sítě LAN motivovaných mnoho výzkumníků vyšetřovat kombinace obou technik.

Kombinace DS-CDMA a multi-carrier modulace byla navržena v roce 1993.

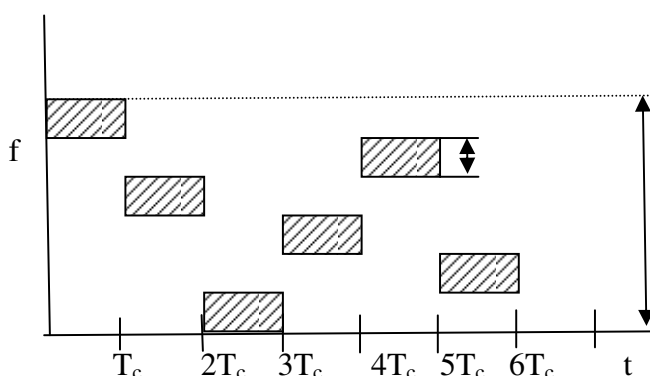
První realizace se označuje jako MC-CDMA, také známý jako OFDM-CDMA. Druhá realizace je pojmenován jako MC-DS-CDMA. V obou systémů, různým uživatelům sdílet stejnou šířku pásma ve stejnou dobu a samostatné údaje za použití různých specifických uživatelských kódy pro rozprostření, tak jak oddělení uživatelů signálů se provádí v kódu doméně. Navíc, oba systémy platí více-nosič modulace snížit symbolovou rychlost, a tedy množství ISI na sub-kanál. Toto snížení ISI je významné v systémech s rozprostřeným spektrem, kdy vysoké ceny čipů nastat. Rozdíl mezi MC-CDMA a MC-DS-CDMA je přidělování čipů na sub-kanály a OFDM symboly.

Princip MC-CDMA je zmapovat čipy symbol šíření dat frekvence směrem do několika paralelních sub-kanálů, zatímco MC-DS-CDMA mapy čipy jako symbol šíření dat v časovém směru přes několik multi-nosič symboly.

MC-CDMA přenáší data symbol uživatelů současně na několika úzkopásmových sub-kanálech. Tyto sub-kanály jsou vynásobeny čipy user-specifické kódu rozprostření.

2.2. Kmitočtové skákání

Při popisu technik rozprostřeného spektra byla v tomto textu věnována pozornost především přímému rozprostření DS-SS. Nyní se krátce zastavme u metody rozprostření pomocí tzv. *kmitočtového skákání*. Jeho princip je ilustrován na Obr.2.1 .

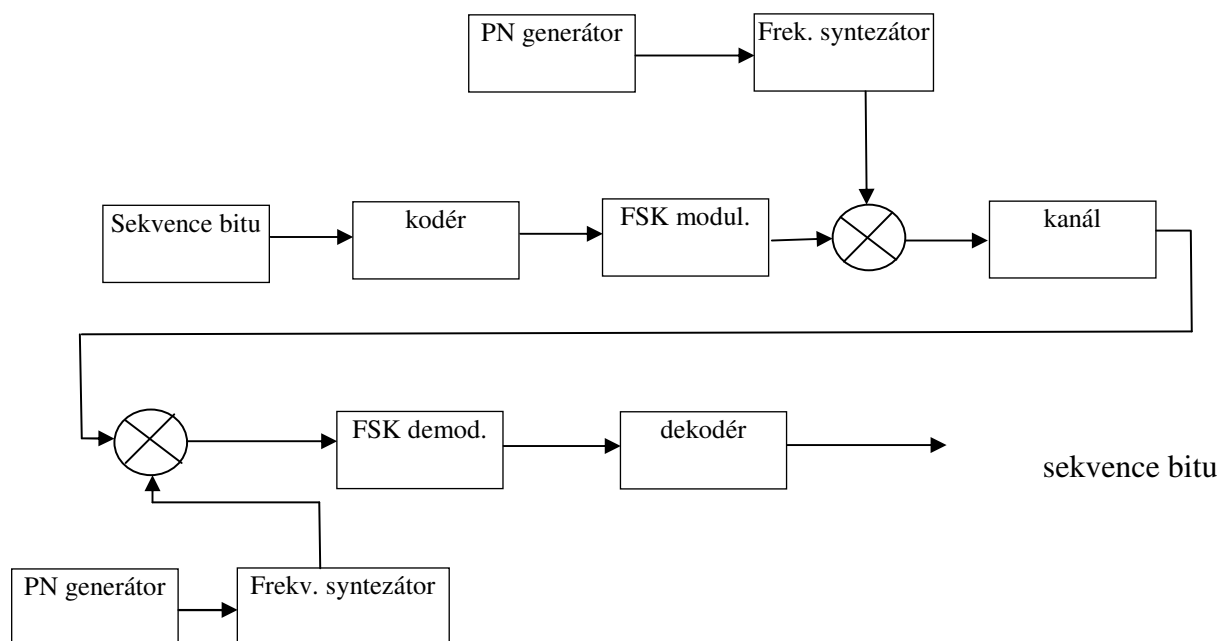


Obr.2.1: Princip kmitočtového skákání.

V každém jednotlivém okamžiku je vysílán úzkopásmový signál. Tento signál je ale kmitočtově posouván dle předem známé pseudonáhodné posloupnosti. Výsledné spektrum je tedy podstatně širší než spektrum potřebné pro přenos informace. [18]

Podle poměru rychlosti v jaké dochází ke kmitočtovému skákání R_h a symbolové rychlosti rozdělujeme kmitočtové skákání na pomalé kmitočtové skákání (Slow Frequency Hopping, rychlost skákání menší než symbolová rychlost) a rychlé kmitočtové skákání (Fast Frequency Hopping, skákání několikrát během symbolové periody).

Pro jednoduchost využívají systémy s kmitočtovým skákáním často kmitočtového klíčování FSK. Principiální schéma FH-SS modemu s FSK je na obrázku Obr.1.2 .



Obr.1.2: Modulátor-demodulátor s kmitočtovým skákáním

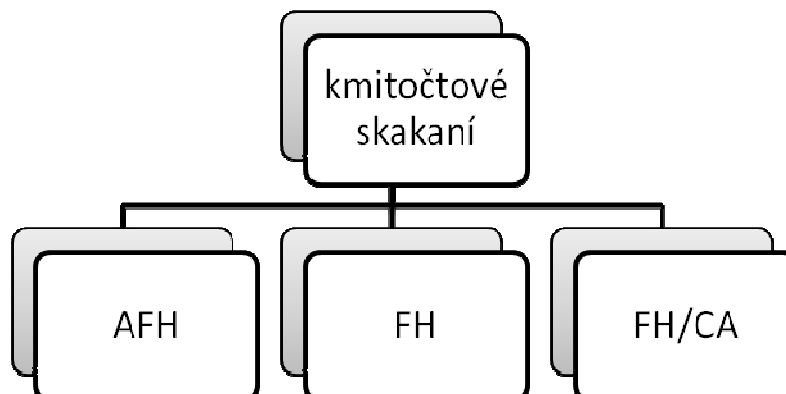
Binární data jsou nejprve kódována a modulována pomocí FSK, jako v běžném FSK modemu. Pseudonáhodná posloupnost pak řídí kmitočet syntezátoru, který umožňuje vlastní kmitočtové skákání.

Pseudonáhodná posloupnost v přijímači musí být synchronizována s posloupností ve vysílači, i když požadavky na přesnost synchronizace nejsou tak striktní jako v případě DSSS. Obdobně jako v případě DSSS má i pro F-SS synchronizace dvě fáze - zachycení a sledování. [18]

Kmitočtové skákání je metoda přenosu radiových signálů, při kterých dochází k rychlému přepínání mezi jednotlivými nosnými pomocí pseudonáhodné posloupnosti, kterou znají obě komunikující strany.

Jedním z problémů který se vyskytuje v dané technice je kolize mezi komunikačním systémem a statickým nebo dynamickým rušičem v daném pásmu. Takovým rušičem může být například jiný komunikační systém. Pokud toto rušení je proměnné v čase říkáme, že je to dynamické rušení. Cílem je použít takovou techniku, která zajistí vyhýbání se kolizím, jinými

slovy pravděpodobnost kolize bude minimální. Existuje několik technik zajišťujících vyhýbání se kolizím. Jejich přehled je uveden na Obr. 1.3 .



Obr. 1.3: Typy kmitočtových skákání

AFH (Adaptive Frequency Hopping)

Rozhodování o přepínání na jiný kmitočet proveděného na základě předchozích měření. K rozeznání staticky zarušených kmitočtu používají parametry, jako měření uroven signálu na jednotlivých kanálech pomocí RSSI (Received Signal Strength Indication), dále paketová chybovost PLR (Packet Loss Ratio) ,a nebo také bitové chybovost BER (Bit Error Ratio). Na základě měření vybrán kanál který nejmenší narušen.

Technika Frekvenční skákání (FH) byla navržena jako technika pro boj multipath blednutí a problémy s rušením v odkazech HF (high frequency) – radiokomunikační pásmo. Pomocí výkonné kódovací techniky, tyto systémy jsou schopny obnovit předávaných informací i za nepříznivých podmínek, kdy přenosněkolik frekvencí v užívání nejsou k dispozici. Přestože účinná proti rušení a interferencím krátké trvání, mohou být tyto režimy se výrazně zvýšila v typickém prostředí HF s pomalým blednutí a velké množství úzkých-band, pomalu se měnící interferers.

Přímo čaré Adaptive Frequency Hopping(AFH) systém pro duplexní spojení je navržena a analyzována. V takové souvislosti, se měření kvality spojení vrací zpět do vysílače tak, že špatné frekvencí může být odmítnut. Systém je založen na analýze rozšíření modelu rušení HF předložený Gott a ostatní (1991). Kompromis mezi množstvím informací ze zpětné vazby a propojení propustnost, stejně jako vliv zpětné vazby spolehlivosti je vyšetřován. Výsledky

ukazují, že systém AFH má potenciál přežít v extrémně přeplněných prostředí na velmi nízké úrovni výkonu vysílače. LPI vlastnosti těchto systémů jsou velmi slibné.[18]

FH (Frequency Hopping)

Technika frekvenčního skákání patří do skupiny modulací s rozprostřeným spektrem. Technika FH je v zásadě úzkopásmovým přenosem v daném časovém okamžiku, nicméně v delším časovém úseku díky mnohonásobné změně nosné frekvence dojde k jejímu rozproštění do přiděleného kmitočtového spektra. Princip této techniky spočívá v rychlém přepínání kmitočtu nosné frekvence v pseudonáhodném poradí, které je známo jak přijímací, tak vysílací stranami.

V systémech, frekvenčního skákání, vysílače změny nosné frekvence podle určitého „poskakování“. Výhodou je, že signál vidí jiný kanál a jiný soubor rušených signálů během každého skoku. Tím se předchází problému tím, komunikace na konkrétní frekvenci, protože začínají se vadnout. [19]

FH/CA (Frequency Hopping with Collision Avoidance)

Technika FH/CA je založena na technice FH. Technika FH/CA předpokládá, že je možné na základě měření úrovně signálu (RSSI) na jednotlivých kanálech odhalit statické i dynamické rušiče. Technika FH/CA provádí před skokem na následující kanál měření úrovně signálu na uvažovaných kanálech. Na základě provedených měření je pak vybrán nejvhodnější kanál [17]. Výběr se provádí z určitého počtu náhodně vygenerovaných kanálů.

Na základě matematického modelu v [17] bylo zjištěno, že systém využívající FH/CA má lepší schopnost vyhýbání kolizím způsobeným dynamickými a statickými rušení než systém využívající techniky AFH a FH.

RSSI (Received Signal Strength Indication) – jde o ukazatel síly signálu zjištěný měření síly přítomné v přijímaném signálu. [19]

RSSI je často měří frekvenční (IF) fázi před IF zesilovačem. V nule-IF systémů, to je realizováno v základním pásmu řetězce zpracování signálu, před pásmem zesilovače. RSSI výstup je často analogové DC úrovně. Vzorky můžou být také odebrány v interním ADC a

výsledné kódy jsou k dispozici přímo nebo prostřednictvím okrajových nebo vnitřních procesorových sběrnic.

V IEEE 802.11 systém RSSI je relativní, obdrží sílu signálu v bezdrátovém prostředí, v libovolných jednotkách. RSSI je údaj o výkonu přijatého anténou. Proto čím větší je RSSI (nebo méně záporný v některých zařízeních), tím je silnější signál.

RSSI je možné určit vnitřně v bezdrátových síťových kartách, kdy množství energie rádia v kanálu pod určitou hranici, při jejímž překročení síťové karty je jasné poslat (CTS). Jakmile je karta připravena je možné poslat paket s informací. Uživatel bude schopen zjistit hodnotu RSSI při měření síly signálu bezdrátové sítě pomocí bezdrátového nástroje pro monitorování sítě, jako Wireshark, Kismet nebo Inssider. RSSI měření je v rozsahu 0 až 255, vyjádřitelné jako jeden-bajt bez znaménka. Maximální hodnota *RSSI_Max* je závislý na výrobci. Například Cisco Systems karty mají *RSSI_Max* hodnotu 100, a má 101 různých výkonnostních úrovní, kde hodnota RSSI je od 0 do 100. Další populární Wi-Fi čipset je od výrobce *Atheros*. *Atheros*. Ten obsahuje hodnoty RSSI v rozsahu od 0 do 127 (0x7F), kde 128 (0x80) označuje neplatnou hodnotu. Není uveden vztah jakékoli konkrétního fyzického parametru čtení RSSI. 802.11 norma nedefinuje žádný vztah mezi hodnotou RSSI a výkonové úrovni v *mW* nebo *dBm*. Prodejci poskytují jejich vlastní přesnost, měřítko a rozsah pro vlastní síly (měřeno jako *mW* nebo *dBm*) a jejich rozsah hodnot RSSI (od 0 do *RSSI_Max*). V tomto rozsahu 802.11 RSSI je (pro nejvíce případů) nahrazena indikátorem kanálu napájení. RCPI je funkční měření pokrývající celou dobu příjmu rámce s definovanou absolutní úrovní přesnosti a rozlišení. [19].

Na závěr že možné říct, že komunikační systémy s rozprostřeným spektrem mají řadu specifických výhod, které leží za hranicemi možností klasických způsobů radiové komunikace, a umožňují realizovat spolehlivé spojení v kanálech s vysokou úrovní poruch a při velmi špatném poměru signál šum, dovolují přenášenou informaci utajit, nabízejí i možnost uskutečnit kódovaný multiplexní provoz. S využitím jejich principů lze realizovat také velmi přesné navigační systémy. V některých aplikacích jsou přednosti tak důležité, že jednoznačně opravňují preferenci systémů s rozprostřeným spektrem před klasickými, přestože technika rozprostřeného spektra je po obvodové stránce složitější. Otázku obvodové náročnosti však velmi efektivně řeší vhodné monolitické obvody s velkým stupněm integrace.

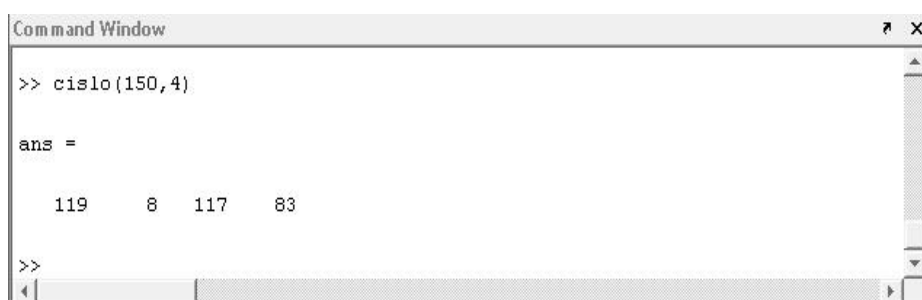
3. Simulační model

Technika FH/CA předpokládá, že je možné na základě měření úrovně signálu (RSSI) na jednotlivých kanálech odhalit statické i dynamické rušiče. Technika FH/CA provádí před skokem na následující kanál měření úrovně signálu na G uvažovaných kanálech.

Na základě provedených měření je pak vybrán nejvhodnější kanál, tj. Kanál s nejnižší naměřenou hodnotou úrovně signálu. Následuje skok na vybraný kanál, tj. Pokud to bude možné na kanál neobsazený.

Výběr uvažovaných kanálu je realizován pomocí pseudonáhodných generátoru o počtu G . Pseudonáhodné generátory před každým skokem vygenerují sadu čísel uvažovaných kanálu. Vygenerovaná sada čísel z generátoru musí být pro každý skok unikátní, tj. Vygenerovaná čísla v sadě z generátoru se nesmí mezi sebou shodovat. Pokud by se vygenerovaná čísla shodovala, tak je provedeno nové generování sady čísel, dokud nebudou generovaná čísla v sadě unikátní.

Simulační model modelován z třech m-souboru. První m-soubor generuje sadu čísel uvažovaných kanálu číslo kanálu má funkce `Tab`, která vrátí G různých kmítočtu z různých N číslo kanálů. Dalé vygenerujeme první kmítočet pomocí pseudonáhodné funkce `rand` a zaokrouhlíme pomocí `floor`. Přes cyklus `while` generujeme vše g kmítočty, a pak testujeme jích pokud splní se podmínka $OK=0$, tak je vygenerována číslo kmítočtu ve tabulce `Tab`. Když $OK=1$ podle indikátoru víme že generujeme číslo není v `Tab`. A proto pokračujeme zapíšeme do `Tabu` a zvýšeme. V případě že $NG=G$ programa skončí.



```
Command Window
>> cislo(150,4)

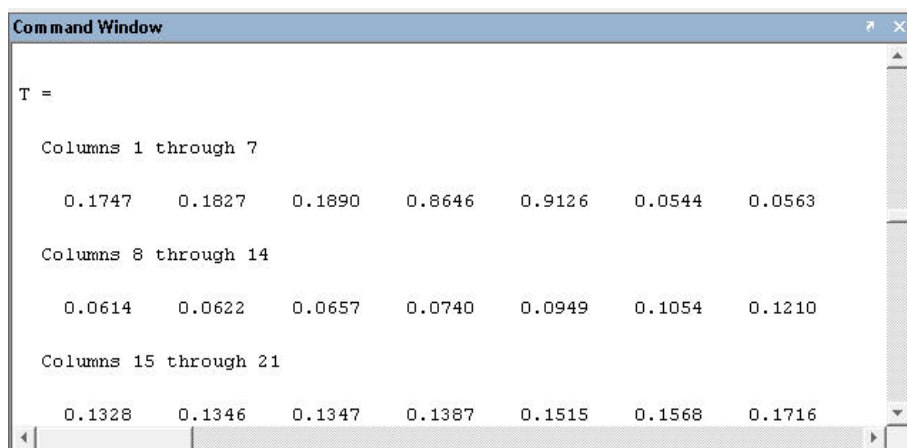
ans =

    119     8    117     83

>>
```

Obr.3.1: vygenerovana sada čísel $G = 4$ z $N=150$

Druhý m-soubor se předsatvuje měření jednotlivých kanálů v časě. Zavedeme index od 1 po S_m - číslo stanic, pak T_1 -první náhodné číslo, nahrazuje čísla a zvedne se na 2 - do druhého náhodného čísla. Při tomto převádíme jednu stanice.



Obr.3.2: Generování náhodných čísel od nejmenšího v řádek

Pak nasledujícím cyklu generujeme vektor nejmenší pozice.

Dal ve nasledující cyklu je vygenerovana stanice které má stavové proměny obsaženosti kanálu t_1 , které na začátku má hodnoty $t_1(i)=0$, kde je i zaveden od 1 do N -počtu kanálů. V daném případě nastavila jsem $N_{min} = 30$ a $N_{max} = 50$ při číslo stancie $S_m = 60$. Při splnění této podmínky je t_1 větší nebo se rovna T_1 -prvnímu náhodnému číslu, obsadí kanál a zapiše se T_1+1 ve $t_1(1)$. A tak převádí evídenice obsazení kanálu pokračuje přes cykly počty stanic a počty převádění.

Simulační model modeluje pravděpodobnost kolize mezi komunikačním systémem FH/CA a statickými nebo dynamickými rušiči v daném komunikačním pásmu. Systém FH/CA má k dispozici N komunikačních kanálů, přičemž při každém skoku vybere jeden kanál z G možných. V pásmu s N komunikačními kanály se kromě systému FH/CA nachází R statických a S dynamických rušičů. Za dynamické rušiče lze považovat jiné FH respektive AFH systémy, které nejsou mezi sebou synchronizovány a pracují nezávisle na sobě. Pro jednoduchost se předpokládá, že šířka pásma každého z rušičů je stejná jako šířka pásma jednoho kanálu systému FH/CA. Tedy jeden rušič dokáže plně zarušit maximálně jeden kanál.

Dále se předpokládá, že doba mezi dvěma skoky T pro techniku FH/CA je shodná s dynamickými rušiči.

Další část spočítá pravěpodobnost kolize a středná doba kolize a vykreslí se graf závislosti čísla stanic.(v příloze)

Nasazení techniky FH/CA uvažujeme v pásmu s intenzivním rušením. Za daných podmínek bude proto nezbytné užití nízké přenosové rychlosti u stanic FH. Při použití obvodu s rychlým uzamčením smyčky fázového závěsu, bude možné provést nezbytné proměření jednotlivých kanálů v čase, který bude zanedbatelný vzhledem k použité přenosové rychlosti systému. Podrobné je popsáno ve příloze práce.

4. Verifikace modelu

Matematický model modeluje pravděpodobnost kolize mezi komunikačním systémem FH/CA a statickými nebo dynamickými rušici v daném komunikačním pásmu. Systém FH/CA má k dispozici N komunikačních kanálů, přičemž při každém skoku vybere jeden kanál z G možných. V pásmu s N komunikačními kanály se kromě systému FH/CA nachází R statických a S dynamických rušic. Za dynamické rušice lze považovat jiné FH respektive AFH systémy, které nejsou mezi sebou synchronizovány a pracují nezávisle na sobě.

Pro zlepšení a jednoduchost se předpokládá, že šířka pásma každého z rušic je stejná jako šířka pásma jednoho kanálu systému FH/CA. Tedy jeden rušic dokáže plně zarušit maximálně jeden kanál. Předpokládá se, že doba mezi dvěma skoky T pro techniku FH/CA je shodná s dynamickými rušici. Určena jako:

$$P_{VR} = \left(\frac{N - R}{N} \right)$$

Odsud víme že jestli zvolíme libovolný okamžik t , tak pravděpodobnost, že na daném kanálu nevysílá statický rušic.

Pravděpodobnost kolize respektive skoku FH systému na zarušený kanál je dána vztahem , kde N je počet komunikačních kanálů a R je počet kanálů zarušených statickými rušici a S je počet dynamických rušic. V případě FH systému to jsou jiné FH sítě a v případě AFH systému to jsou jiné AFH sítě.

Matematické modely, které pro techniku FH a AFH byly převzaty z článku [9].

$$P_{FH} = 1 - \left(\frac{N - R}{N} \right) \cdot \left(\frac{N - 1}{N} \right)^S$$

Dále byla provedena analýza zisku v našich dynamických systémech. K ilustraci analýzy byly pro výpočet použity následující parametry: $R = 0$, a proto palatí k verifikace FH/CA

když $G = 1$:

$$P_{FH} = 1 - \left(\frac{N}{N}\right)^s$$

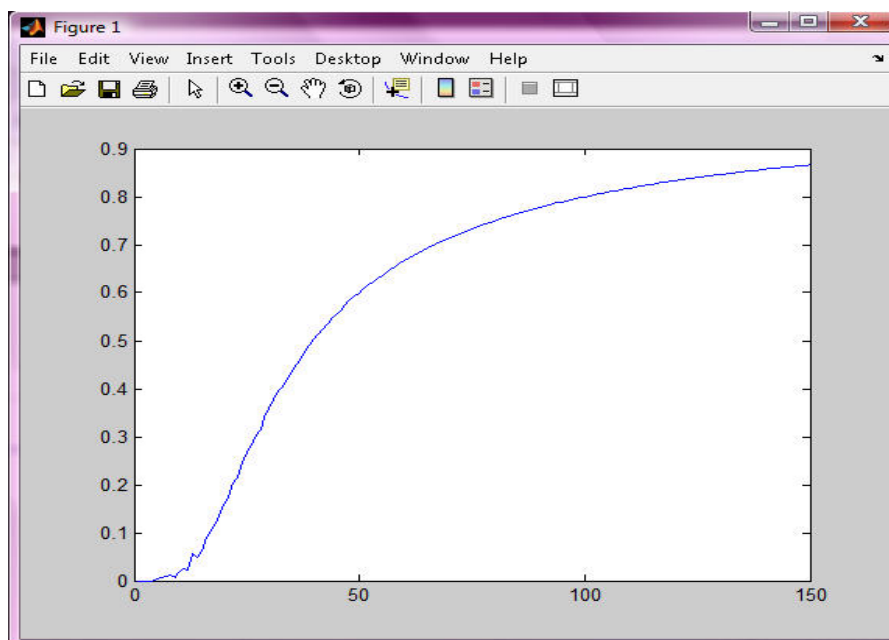
Tak je výsledkem bude pravděpodobnost kolize respektive skoku FH systému na zarušený kanál je rovná se $P_{FH} = 0,9995$.

Má teoretickou možnost použití.

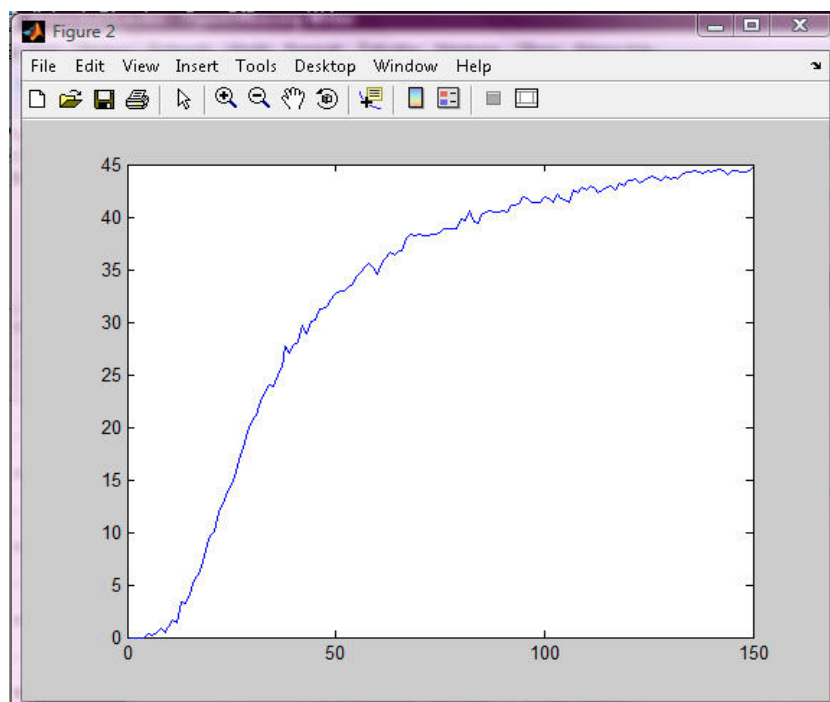
5. Výsledky

Dané simulační program ověřen a odpovídá počátečním požadavkům. A podle grafu vypracovaných vidím že pomocí simulátoru jsou získána data o intenzitě vzájemného rušení systémů FH/CA pro vybrané scénáře. Tento simulační program je vytvořen v programu MATLAB a testuje správnost algoritmu. Má teoretickou možnost použití.

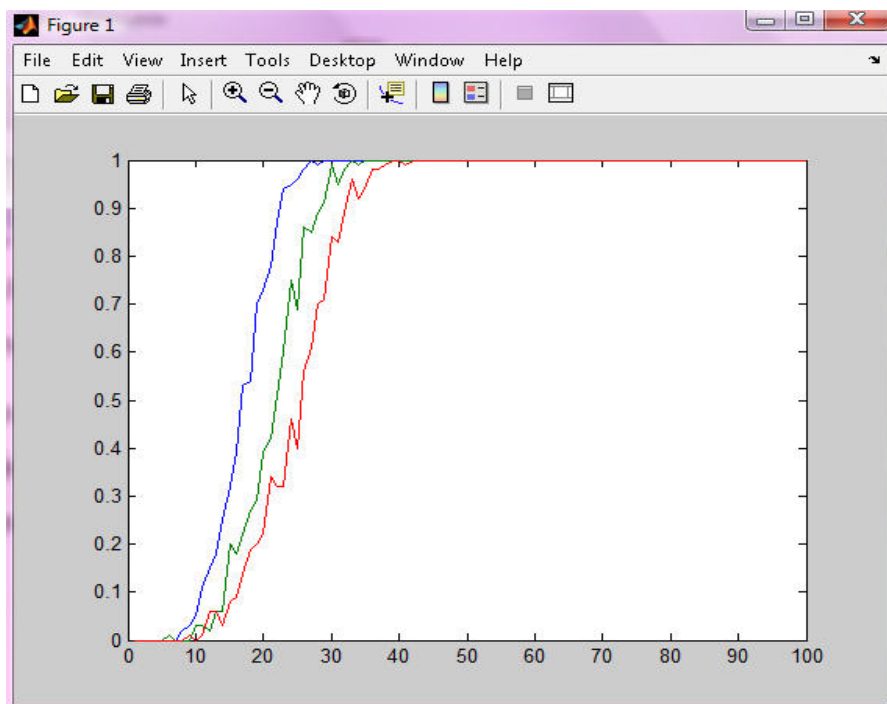
Obr.5.1: Graf závislosti počet stanic od počta kolize



Obr.5.2: Graf závislosti cislo stanic od sredni doby kolize (ve %)



Obr.5.3: Graf závislosti počet stanic $S=100$ od počtu kolize při $N=30, N=40, N=50$



Závěr

V své diplomové práci je prodloužila a rozšířila jsem problematiku kterou měla při vytvoření semestrální práce. V průběhu psaní práce seznámila se a prostudovala problematiku systému s kmitočtovým skákáním a vyhýbáním se kolizím (systém FH/CA). Popsala jsem důležité věci které se používají v tomto systému. Dále je v práci naprogramovala jsem počítačový program pro simulaci provozu rádiového systému FHCA, který pracuje v pásmu využívaném dalšími systémy FH/CA. Tento simulační program je vytvořen v programu MATLAB a testuje správnost algoritmu. Pomocí simulátoru jsou získána data o intenzitě vzájemného rušení systémů FH/CA pro vybrané scénáře. Tato práce je rozdělena do pěti částí: v první části je popsán systém hromadné obsluhy, druhá část se zabývá rádiovými systémy s kmitočtovým skákáním FH/CA, třetí část popisuje simulační model. Čtvrtá část obsahuje verifikaci modelu a poslední pátá část jsou zobrazeny výsledky.

Literatura:

- [1] Neuschl, Š. aj.: Modelovanie a simulácia. Alfa, Bratislava 1988.
- [2] Donar B., Zaplatílek K. : MATLAB pro začátečníky. BEN, Praha 2003.
- [3] Gros, I.: Kvantitativní metody v manažerském rozhodování, 1. vydání, Praha, Grada publishing a. s., 2003.
- [4] Šubrt, T., Brožová, H., Dömeová, L., Kučera, P.: Ekonomicko matematické metody II, aplikace a cvičení, skripta PEF ČZU Praha 2000
- [5] Získal, J., Havlíček, J.: Ekonomicko-matematické metody II, studijní texty pro distanční studium, skripta PEF ČZU Praha 1999
- [6] Němec, K., Datová komunikace. Skriptum VUT FEKT Brno, VUT FEKT, 2007
- [7] Ing. Molnár, K. Moderní síťové technologie, elektronické přednášky VUT
- [8] Centrum Informačních technologií . IDOC. Dostupný z WWW: <www.idoc.vsb.cz>.
- [9] R. Pust, K. Burda, „Comparing performance of FH and AFH systems“, International Journal of Computer Science and Network Security“, 2010, Vol. 10, No. 2, page 82-85 ISSN: 1738- 7906.
- [10] Mactech.com. Dostupný z WWW:
<<http://www.mactech.com/articles/mactech/Vol.15/15.12/>>
- [11] CVUT v Praze. Dostupný z WWW: <www.cvut.cz>.
- [12] Flex.ru . Dostupný z WWW: <<http://www.flex.ru/tehnolog/tehnol.asp/>>.
- [13] R. Pust, K. Burda, „A NEW TECHNIQUE OF FREQUENCY HOPPING WITH COLLISION AVOIDANCE“, RADIOENGINEERING, VOL. 19, NO. 4, DECEMBER 2010, page 499-506. (článek v českém jazyce).
- [14] Multimediální učebnice slouží ke zkvalitnění výuky magisterského předmětu MTRK, vyučovaném na Ústavu radioelektroniky Vysokého učení technického v Brně. Dostupný z WWW:<<http://www.urel.feec.vutbr.cz/MTRK/?%DAvod>>

- [15] Wikipedia RSSI. Dostupný z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Received_signal_strength_indication >
- [16] Neuscl, M., Diplomava práce: „DÁLKOVÝ SBĚR DAT PO SILOVÝCH VEDENÍCH“ Brno 2009. Dostupný z WWW:
<http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne >
- [17] Elektronická sbírka příkladů“ Fakulta matematicko-fyzikální Karlova Univerzita v Praze. Dostupný z WWW:
<<http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektronika/cdm/cdm56.html>>
- [18] Zander,J.,Malmgren, G. AFH ve radikomunikačním pasmu. Dostupný z WWW:
<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=388377>>
- [19] Glas,J. Frekvenční skákání. Dostupný z WWW:
<<http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr05/spreadsp/fh.htm>>
- [20] Fazel, K., Kaiser, S. Multi-carrier a systémy s rozprostřeným spektrem.
Dostupný z WWW:
<http://api.ning.com/files/TU*kXAOkbJivdEO6X15orLSefKEbY4oxRQgE61usmOI/John.Wiley.and.Sons.Multi.Carrier.and.Spread.Spectrum.Systems.eBookDDU.pdf>
- [21] Wikipedia. Dostupný z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-hopping_spread_spectrum/>.
- [22] Vetch, J Teorie hromadné obsluhy a její aplikace na model křižovatky.

Přílohy:

Seznam kodů v Matlabě:

1. číslo.m - Generace sádky čísel uvažovaných kanálů.
2. main3.m- Měření jednotlivých kanálů v čase. Zavislost změny čísla stanic od střední počtu kolize
3. main4.m- Měření jednotlivých kanálů v čase a výpočet střední doby kolize

Seznam obrázků:

1. Graf závislosti počtu stanic od počtu kolize
2. Graf závislosti čísla stanic od střední doby kolize
3. Graf závislosti počtu stanic $S=100$ od počtu kolize při $N=30, N=40, N=50$

% Generace sada cisel uvazovanych kanalu.

```
function Tab=Cislo(N,G);
```

% Funkce vraci G ruznych kmitoctu z N ruznych

% Syntaxe: Cislo(N,G)

% Vygenerujeme prvni kmitocet

```
Tab(1)=floor((rand*N) + 1);
```

% Aktualni pocet vygenerovanych kmitoctu

```
NG=1;
```

% Generujeme dokud nemame vsech G kmitoctu

```
while (NG<G)
```

```
    NF=floor(rand*N + 1); % Vygenerujeme cislo kmitoctu
```

```
    OK=1; % Indikator, zda NF neni uz v Tab
```

```
    % Test, zda NF neni v Tab
```

```
    for i=1:NG
```

```
        if (NF==Tab(i)),OK=0;end
```

```
    end
```

```
    % Pokud OK=0, tak NF je uz v Tab(tabulka vygenerovanych cisel)
```

```
    % Pokud OK=1, tak tak jej zapiseme do Tab a zvysime NG
```

```
    if (OK==1),
```

```
        NG=NG+1;
```

```
        Tab(NG)=NF;end
```

```
end
```

```

clear all
% Mereni jednotlivych kanalu v case
% -----prarmetry-----
N=20; % cislo kanalu
Sm=150; % cislo stanic
G=3; % pocet vygener.cisel
%-----okamziky prekodovani stanic-----
for S=1:Sm % vypocty pro ruzne pocty stanic

for p=1:50 % vypocitame 100 krat
    k=0; % zacatecne nastaveni k
    tau=0; % zacatecne nastaveni tau
    for j=1:S
        T(j)=rand;
    end
    %T %vygenerovani nahodnych cisel
    %cyklus usporadovani nahodnych cisel
    for c=1:(S-1)
        min=1; %minimalni jednotka
        for j=c:S
            if T(j)<min
                min=T(j);
                poz=j;
            end
        end
        a=T(c);
        T(c)=T(poz); % zapis pozice
        T(poz)=a;
    end
    T; % zapis nahodnych cisel od nejmensiho k vetsimu v radek
    %-----spocitani kolizie-----
    for i=1:N % stavova velicina osazenosti kanalu
        t1(i)=0; % zacatecne nastaveni
    end
    for e=1:S % pro jednotlivy stanice
        L=Cislo(N,G); % promena ktera vola s Cislo G ruznych
        %kmitoctu z N ruznych
        for n=1:G
            if T(e)<=t1(L(n)); % nase podminka
                if n==G % posledni kontrolovany kanal
                    k=k+1; % citac kolizie
                    tau=tau+t1(L(n))-T(e); %vypocitani stredni doby kolizie tau
                end
            else % v pripade ze alespon jeden kanal volny
                t1(L(n))=T(e)+1; % obsazeni kanalu
                break;
            end
        end
    end
    err(p)=k; % pocty kolizij pro ruzne p
    taum(p)=tau; % pocty doby kolizie pro ruzne p
end
% for p=1:100 % prepsani poctu kolizi
% if err(p)>=1
% err(p)=1;

```

```
% end
% end
eps_sr(S)=sum(err)/S/50; % vypocet pravdepodobnosti kolizi pro dane
                          %S a N=50
tau_sr(S)=sum(taum)/S/50*100; % vypocet stredni doby kolizie pro dane
                                %pocet cislo stanic a cislo kanalu
end
g=1:S; %pro jednotlivy stanice
figure(1)%
plot(g,eps_sr); % vykresleni zavislosti cislo stanic
                %od poctu kolizie

figure(2);
plot(g,tau_sr); % vykresleni zavislosti cislo stanic
                %od stredni doby kolizie
```

```

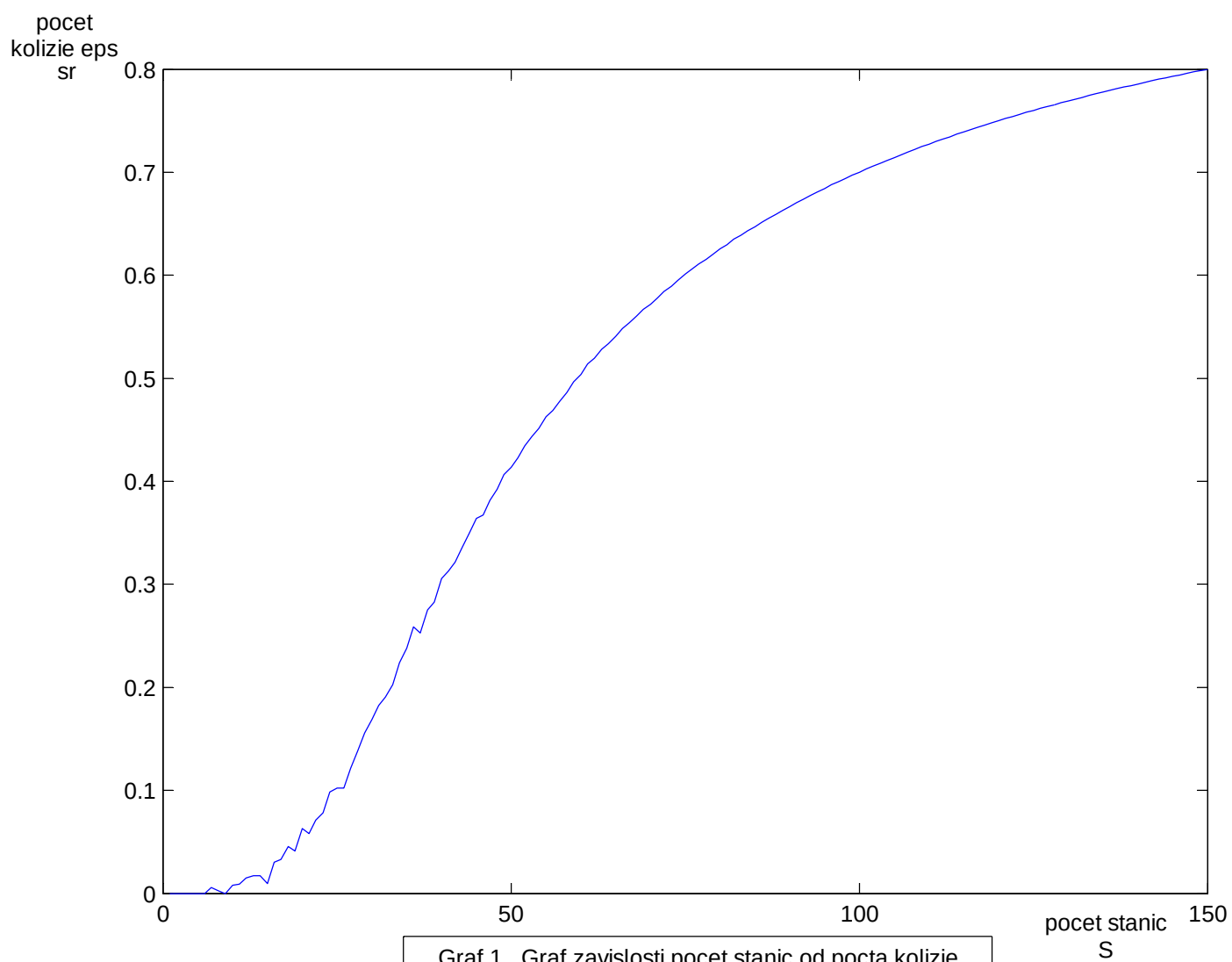
clear all
% Mereni jednotlivych kanalu v case
% -----prarmetry-----
Nmax=50; % cislo kanalu
Nmin=30
Sm=100; % cislo stanic
G=3; % pocet vygener.cisel
%-----okamziky prekodovani stanic-----
for N=Nmin:5:Nmax
    for S=1:Sm % vypocty pro ruzne pocky stanic
        for p=1:100 % vypocitame 100 krat
            k=0;

            for j=1:S
                T(j)=rand;
            end

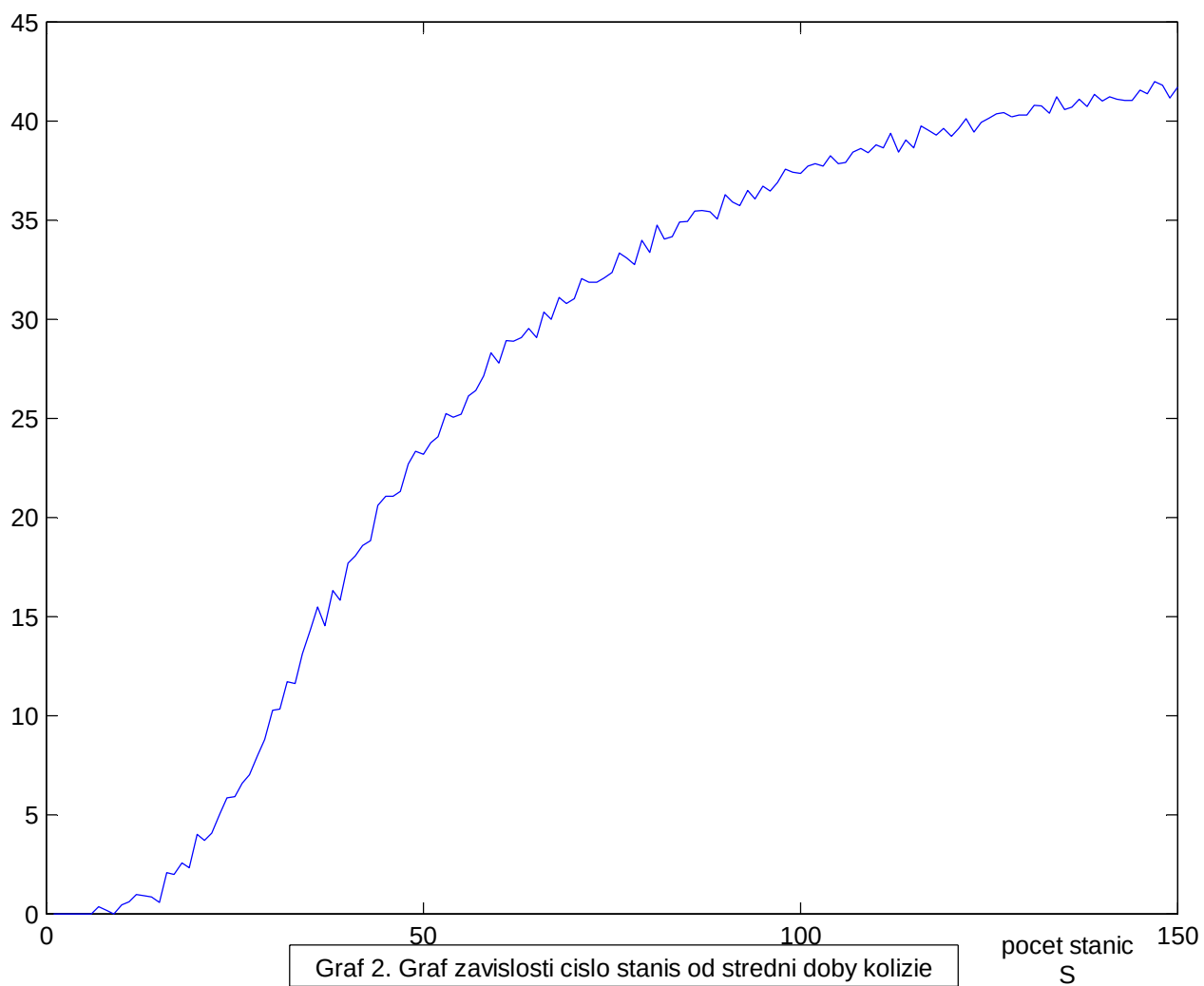
            %T %vygenerovani nahodnych cisel
            %cyklus usporadovani nahodnych cisel
            for c=1:(S-1)
                min=1; %minimalni jednotka
                for j=c:S
                    if T(j)<min
                        min=T(j);
                        poz=j;
                    end
                end
                a=T(c);
                T(c)=T(poz);
                T(poz)=a;
            end
            T; % zapis nahodnych cisel od nejmensiho v radek
            %-----
            for i=1:N % stavova velicina osazenosti kanalu
                t1(i)=0; % zacatecne nastaveni
            end
            for e=1:S %pro jednotlivy stanice
                L=Cislo(N,G); %promena ktera vola s Cislo G ruznych kmitoctu z N ruznych
            %-----evidence obsazeni vybranych kanal-----
                for n=1:G
                    if T(e)<=t1(L(n)); % podminka obsazeni kanalu (L(n) cislo kanalu)
                        if n==G % posledni kontrolovany kanal
                            k=k+1; % citac kolizie
                        end
                    else % v pripade ze alespon jden kanal volny
                        t1(L(n))=t1(L(n))+1; % obsazeni kanalu
                        break;
                    end
                end
            end
            err(p)=k; % pocky kolizij pro ruzna p
        end
        for p=1:100 % prepsani pocktu kolizi
            if err(p)>=1
                err(p)=1;
            end
        end
    end
end

```

```
eps_sr(N-(Nmin-1),S)=mean(err);  
end  
end  
g=1:S;  
plot(g,eps_sr(1,:),g,eps_sr(1+10,:),g,eps_sr(1+20,:))
```



stredni
doba
kolizie
 τ_{sr}



Graf 2. Graf zavislosti cislo stanis od stredni doby kolizie

