

Techniky snímania spektra v kognitívnych rádiových sieťach

Vagaský Martin · Elektrotechnika

22.07.2015



Jednou z najdôležitejších vlastností kognitívneho rádia je snímanie rádiového spektra. Snímaním spektra zisťujeme jeho obsadenosť primárnymi používateľmi. Snímanie musíme vykonávať vo viacerých oblastiach ako je časová, frekvenčná alebo kódová. Na zistenie obsadenosti je možné použiť jednu z techník, ktorá je opísaná v tomto článku. Základným kritériom pre výber techniky je najmä vedomosť respektíve nevedomosť o tvare signálu primárneho používateľa. V článku sú tiež uvedené niektoré techniky snímania spektra, ktoré sú využívané aj v súčasnosti.

Úvod

Kognitívne rádio vzniklo pre účely dynamického prístupu k rádiovému spektru. Táto technológia je v súčasnosti vo vývoji a vznikla kvôli efektívnejšiemu využitiu rádiového spektra. Hlavná myšlienka tejto technológie je, že okrem primárnych používateľov môžu existovať sekundárni používatelia. Sekundárni používatelia môžu využívať časť frekvenčného pásma, ktoré je pridelené primárnym používateľom. Nesmú sa však rušiť navzájom. Na odhalenie prítomnosti primárnych používateľov a jeho aktuálneho využitia môžu slúžiť techniky alebo metódy, ktoré sú opísané v tomto článku. Prvá kapitola je venovaná oblastiam rádiového spektra, ktoré sú použiteľné primárnymi používateľmi pre prenos informácií a je potrebné ich zohľadniť pri výbere respektíve návrhu konkrétnej metódy snímania spektra. V druhej kapitole sú opísané konkrétne metódy pre detekciu signálov primárnych používateľov. Tretia kapitola opisuje metódy snímania spektra, ktoré sú použité v súčasných prenosových systémoch pre lepšiu efektivitu ich prevádzky.

1. Viacrozmerné snímanie spektra

Pri snímaní rádiového spektra musíme zohľadniť všetky oblasti, v ktorých sa môžu prenášať signály primárnych používateľov. V každej z týchto oblastí môže vzniknúť voľný priestor pre prenos informácií sekundárnych používateľov. Najčastejšie využívanou oblasťou rádiového spektra je frekvenčná oblasť. Môžeme ju definovať ako súbor frekvencií, ktoré nie sú využívané primárnym používateľom vyhradeného frekvenčného pásma v určitom čase a vo vyhradenej geografickej oblasti. Táto definícia zahŕňa iba tri oblasti spektrálneho priestoru teda čas, frekvenciu a danú lokalitu. Klasické metódy snímania spektra sú spojené so snímaním a vyhľadávaním

týchto troch parametrov. Existujú aj iné spektrálne oblasti, ktoré budeme môcť v budúcnosti využiť pri prenose informácií. Ide napríklad o oblasť kódov, ktorá sa využíva v systémoch s rozprestretým spektrom. Klasické metódy snímania spektra nie sú schopné detegovať signály, ktoré využívajú rozprestreté spektrum s časovým alebo frekvenčným skákaním.

Tieto signály predstavujú hlavný problém pri snímaní spektra. Týmto problémom sa môžeme vyhnúť, ale potrebujeme vedieť, že kódová oblasť je využívaná primárnymi používateľmi na prenos signálov. Takto môže vzniknúť nový spôsob využitia spektrálneho priestoru. Preto potrebujeme vymyslieť nové metódy a spôsoby na detekciu signálov v oblasti kódov. Ďalšou oblasťou, ktorá nebola zatiaľ dostatočne využitá na prenos informácií je uhlová oblasť. Predpokladajme, že primárni aj sekundárni používatelia vysielajú všetkými smermi. So súčasným pokrokom vo viac-anténnych technológiách (multi-antenna technologies) napríklad zmena vyžarovacej charakteristiky (beamforming), môže byť viacero používateľov multiplexovaných do rovnakého kanála v rovnakom čase a v tej istej geografickej oblasti bez toho, aby sa navzájom rušili. Inými slovami je možné využiť túto technológiu ako ďalšiu oblasť spektrálneho priestoru. Táto oblasť tiež vytvára novú príležitosť vo využívaní spektra. Je dôležité poznamenať, že uhlová oblasť je odlišná od oblasti geografickej polohy. Pri uhlovej oblasti môže byť primárny aj sekundárny používateľ v rovnakej geografickej oblasti a zdieľať rovnaký kanál. Pri určení geografickej polohy je potrebné fyzické oddelenie rádiovkej vzdialenosti.

Vzhľadom na existenciu spomínaných oblastí v spektrálnom priestore je snímanie iba frekvenčného spektrálneho priestoru nedostačujúce. Rádiové spektrum s predstavenými oblasťami sa môže definovať ako teoretický hyperpriestor rádiových signálov, ktorý obsahuje oblasť geografickej lokalizácie, prijímacieho uhla, frekvencie, času a pod. Tento hyperpriestor sa nazýva elektropriestor, prenosový hyperpriestor, alebo rádiový spektrálny priestor, alebo jednoducho spektrálny priestor a môže sa použiť na popis zdieľania viacerých systémov v rádiovom prostredí. Rôzne oblasti a k nim korešpondujúce požiadavky na meranie respektíve snímanie sú spomenuté v Tab. 1. Každá z oblastí obsahuje charakteristický parameter, ktorý potrebujeme merať pre úspešné zistenie prítomnosti signálu.

Pre účely snímania spektra je veľmi dôležité zadefinovať takýto n -rozmerný priestor. Pri snímaní spektra by mal byť zahrnutý proces rozpoznávania obsadenosti spektra vo všetkých oblastiach a nájdenie spektrálnych dier, alebo presnejšie dier v spektrálnom priestore. Napríklad určitá frekvencia môže byť obsadená v danom časovom okamihu, ale môže byť voľná v inom časovom okamihu. Z toho vyplýva, že časová oblasť je rovnako dôležitá, ako frekvenčná oblasť. Ako príklad môžeme uviesť nevyužitú periódu medzi zhlukmi pri prenose v bezdrôtovej lokálnej sieti (WLAN), ktoré sa môžu príležitostne využiť pre prenos informácií. Tento príklad môže byť rozšírený o ďalšie oblasti spektrálneho priestoru udané v Tab. 1. Pre vznik pokročilejších algoritmov pre snímanie spektra je potrebné zahrnúť aj tieto požiadavky pre snímanie viacrozmerného priestoru [1].

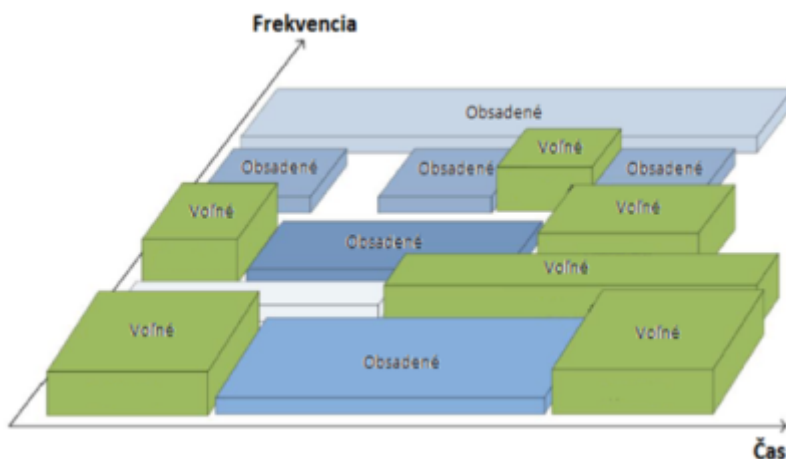
1.1. Frekvenčná oblasť

Ide o snímanie dostupnosti spektra vo frekvenčnej oblasti. Dostupné spektrum je

rozdelené na úzke pásma frekvencií. Voľné miesta spektra v tejto oblasti znamenajú, že všetky pásma nie sú stále využívané v rovnakom čase. Niektoré pásma môžu byť využité pre príležitostné použitie.

1.2. Časová oblasť

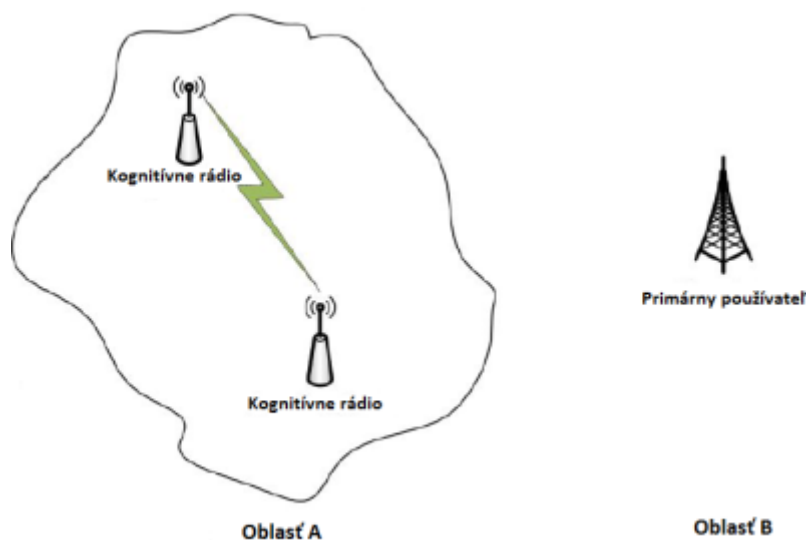
Ide o dostupnosť špecifickej časti spektra v čase. Inými slovami pásmo nie je stále využívané. Existujú časy, ktoré môžu byť dostupné pre príležitostné použitie.



Obr. 1 Frekvenčná a časová oblasť spektra

1.3. Geografická oblasť

Spektrum môže byť dostupné v niektorých geografických oblastiach a v iných môže byť nevyužitá v určitom čase. Takto môžeme dosiahnuť nižšie straty šírením. Týmto meraniam sa môžeme vyhnúť nájdením interferenčnej úrovne. Žiadna interferencia znamená, že nie je prítomný žiadny prenos od primárneho používateľa v danej oblasti. Je ale potrebné dávať si pozor na skryté terminály, ktoré môžu vysielat.

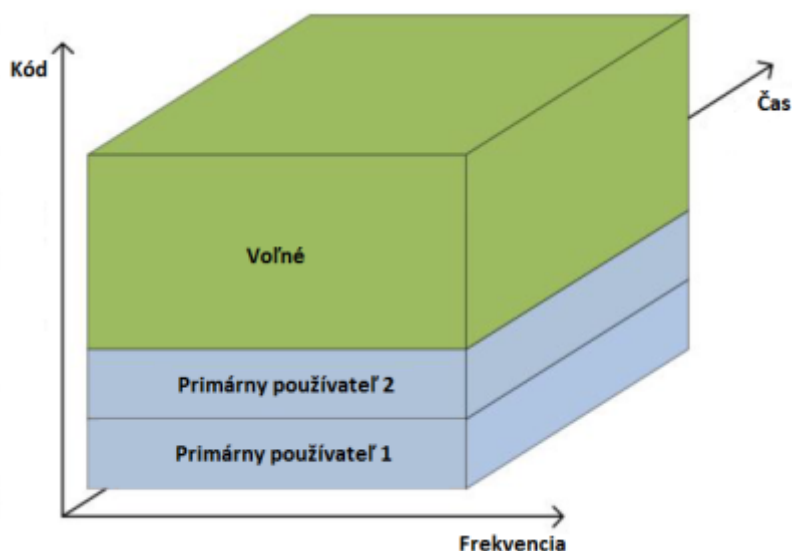


Obr. 2 Geografická oblasť spektra

1.4. Kódová oblasť

Širokopásmové spektrum môže byť využívané technológiami ako sú rozprestreté spektrum s časovým alebo frekvenčným skákaním. Toto ale neznamená, že je

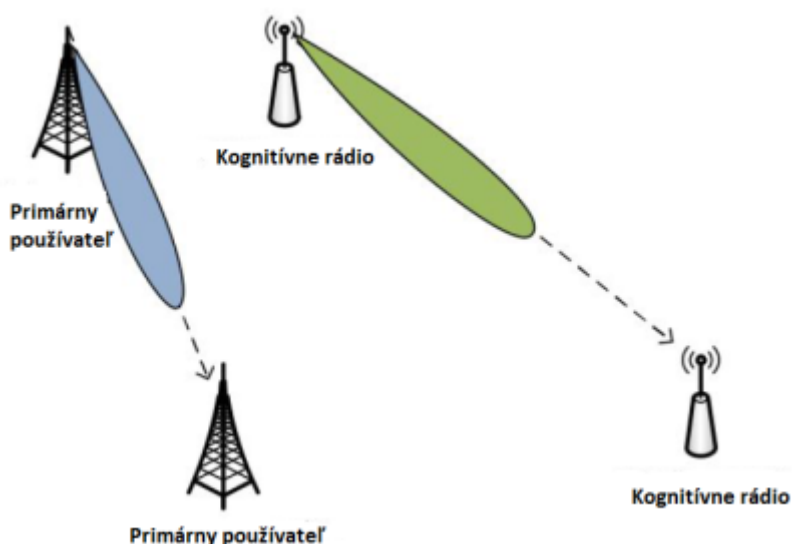
spektrum nedostupné pre sekundárnych používateľov. Prenos informácií bude dovolený sekundárnym používateľom v kódovej dimenzii pomocou ortogonálnych kódov, aby nedochádzalo k rušeniu primárnych používateľov. Toto vyžaduje nie len detekciu prítomnosti primárnych používateľov, ale aj zistenie použitých kódov, prípadne možnosti viaccestného šírenia.



Obr. 3 Kódová oblasť spektra

1.5. Uhlová oblasť

Keď poznáme pozíciu a smer vyžarovania primárneho používateľa môžeme využiť uhlovú dimenziu tak aby sekundárny používateľ nerušil primárneho. Napríklad ak primárny používateľ vysiela špecifickým smerom tak sekundárny používateľ môže vysielať iným smerom ako je primárny bez toho aby sa navzájom rušili.



Obr. 4 Uhlová oblasť spektra

2. Metódy snímania spektra

2.1. Energetický detektor

Energetický detektor prijíma signál od primárneho používateľa, z ktorého vypočíta

jeho energiu. Táto metóda nepotrebuje poznať tvar signálu. Hodnota energie sa porovná s vopred vypočítanou hranicou, na základe ktorej indikuje prítomnosť alebo absenciu primárneho používateľa. Z matematického hľadiska ide o testovanie hypotéz:

$$y(k) = \begin{cases} n(k) & H_0 : \text{primárny používateľ nie je prítomný} \\ s(k) + n(k) & H_1 : \text{primárny používateľ je prítomný} \end{cases} \quad (1)$$

Kde $n(k)$ je aditívny biely Gaussov šum, $s(k)$ je signál vysielaný primárnym používateľom, $y(k)$ je signál prijatý kognitívnym rádiom. Energia prijatého signálu je vypočítaná:

$$E = \sum_{n=0}^{N-1} |y(k)|^2 \quad (2)$$

Kde N je počet vzoriek prijatého signálu. Rozhodnutie o prítomnosti, alebo neprítomnosti signálu je dané porovnaním vypočítanej energie a hranice γ . Z týchto hodnôt sa tiež vypočítajú pravdepodobnosť falošného alarmu P_f a pravdepodobnosť detekcie P_d . Pravdepodobnosť falošného alarmu P_f je pravdepodobnosť, že energetický detektor nesprávne odhadne prítomnosť signálu primárneho používateľa. Z toho vyplýva, že pravdepodobnosť falošného alarmu by mala byť čo najmenšia.

$$\text{rozhodovacia uroveň} = \begin{cases} H_0, E < \gamma \\ H_1, E \geq \gamma \end{cases} \quad (3)$$

$$P_d = P(E < \gamma / H_1) \quad (4)$$

$$P_f = P(E \geq \gamma / H_0) \quad (5)$$

Hranica γ sa môže určiť z rozptylu šumu ako najnižšia hodnota vektora autokorelačnej funkcie prijatého signálu. Táto metóda určenia hranice γ vyžaduje veľmi presný odhad šírky pásma signálu. Ak je šírka pásma prijímaného signálu neznáma, tak algoritmus určí hranicu γ , ktorá je úmerná k aktuálnej hodnote šumu. Konštantu úmernosti môžeme určiť odosielaním testovacích signálov. Hodnota prahu sa určí zo vzťahu:

prahová hodnota = c.najnižšia hodnota vektora autokorelačnej funkcie

Kde k je konštanta úmernosti [2]. Pri metóde energetického detektora bezdrôtové zariadenie meria energiu rádiokvencného signálu v prenosovom kanáli, alebo silu prijímaných signálov, aby sa zistilo, či na danom kanáli prebieha nejaký prenos. Táto metóda má nevýhodu v tom, že bezdrôtové zariadenia môžu zistiť prítomnosť prenosov od primárnych používateľov iba ak je energia prijímaného signálu nad určitou hranicou. Ak je energia prijímaného signálu pod touto hranicou to spôsobí, že prenos od primárnych používateľov nezistíme. Hranicu nemôžeme ľubovoľne znížiť, pretože to by mohlo spôsobiť chyby v detekcii, teda prijatý šum by sme považovali za signál. Ďalší problém, ktorý by mohol nastať je, pri metóde energetického detektora by sme nevedeli rozlíšiť medzi primárnym používateľom a iným sekundárnym používateľom, ktorý by chcel využiť voľný priestor v danom kanáli [3].

2.2. Detekcia podľa tvarov vln (Waveform-based detection)

Energetická detekcia je náchylná na falošné detekcie signálov primárnych

používateľov, pretože ich prítomnosť odhaľuje na základe výkonu prijímaných signálov. Preto môže byť ľahko ovplyvnený neurčitostou prijímaných signálov. Táto metóda tiež nedosahuje dobré výsledky pri nízkej hodnote SNR. Obe tieto nedokonalosti odstraňuje detekcia signálov podľa tvarov vln, ktorá je založená na korelácii prijatého signálu so známymi vzorkami signálu. Detekcia signálov podľa tvarov vln sa vykonáva v časovej oblasti. Ak použijeme model prijímaného signálu $y(k)=x(k)+n(k)$. Predpokladáme, že známe tvar signálu, ktorý sa bude porovnávať je reprezentovaný NB vzorkami. Metrika pre snímanie signálu podľa tvaru vln je:

$$S = \text{Re}[\sum_{n=1}^{N_B} y(k)x^*(k)] \quad (6)$$

Ak nie je prítomný signál vo vysielacom kanáli metrika je:

$$S = S_0 = \text{Re}[\sum_{n=1}^{N_B} n(k)x^*(k)] \quad (7)$$

Ak je prítomný signál vo vysielacom kanáli metrika je:

$$S = S_1 = \sum_{n=1}^{N_B} |x(k)|^2 + \text{Re}[\sum_{n=1}^{N_B} n(k)x^*(k)] \quad (8)$$

Metrika snímania môže byť aproximovaná ako Gaussovská náhodná premenná ak je NB dostatočne veľké. Chyba pri snímaní je zaokrúhľená smerom nadol pri použití uvedených vzťahov. Je možné vypočítať strednú hodnotu a rozptyl S_0 a S_1 , ktorý sa neskôr môže použiť na výpočet chyby snímania, ktorá je daná vzťahom:

$$SEF = Q\left(\sqrt{N_B} \frac{\sqrt{SNR}}{\sqrt{(\alpha-1)SNR+1/2+\sqrt{1/2}}}\right) \quad (9)$$

Ak je $SNR \ll 1$, tak argument Q funkcie sa zjednoduší na tvar:

$$\sqrt{N_B} \sqrt{\frac{SNR}{2}} \quad (10)$$

Inými slovami lineárna redukcia SNR vyžaduje lineárne zvýšenie počtu vzoriek, aby sme dosiahli rovnakú hodnotu snímacej chyby. Ak je $SNR \gg 1$, tak argument Q funkcie je aproximovaný na tvar:

$$\sqrt{N_B} \sqrt{\alpha - 1} \quad (11)$$

Inými slovami snímanie signálov podľa tvarov vln sa správa podobne ako energetická detekcia pri vyššom SNR. Aproximáciou argumentu Q funkcie pri nižšom SNR sa môže N_B považovať za zisk snímania. Keď SNR rastie, tak signál je reprezentovaný parametrom α , ktorý bude hrať veľmi dôležitú úlohu vo výraze pre výpočet SEF. Keďže snímací zisk N_B je rovný dĺžke známeho vzoru signálu primárneho používateľa výsledkom je lepšia účinnosť snímania [4].

2.3. Cyklostacionárna detekcia

Modulované signály sú vo všeobecnosti nosné sínusové vlny, impulzne stopy, opakované rozprestretie, skákajúce sekvencie, alebo cyklický prefix, ktoré vykazujú

určitú periodicitu. Aj keď sú dáta charakterizované ako stacionárny náhodný proces, tieto modulované signály sú charakterizované ako cyklostacionárne signály, pretože ich štatistické charakteristiky ako sú stredná hodnota a autokorelácia vykazujú periodicitu. Periodicita je zvyčajne zavedená do signálu zámerne, aby prijímače vedeli odhadnúť niektoré parametre signálu ako sú fáza nosnej, trvanie impulzu, alebo smer z ktorého signál prichádza. Tieto parametre sa môžu využiť na detekciu náhodného signálu s konkrétnym typom modulácie v pozadí šumu a iných modulovaných signálov [5]. Cyklická spektrálna hustota (CSD) prijatého signálu $y(k)=x(k)+n(k)$ sa vypočíta:

$$S(f, \alpha) = \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} R_y^{\alpha}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} \quad (12)$$

Kde

$$R_y^{\alpha}(\tau) = E[y(k + \tau)y^*(k - \tau)e^{j2\pi\alpha k}] \quad (13)$$

je cyklická autokorelačná funkcia (CAF) a α je cyklická frekvencia. Výstupom CSD funkcie sú špičkové výstupné hodnoty, keď cyklická frekvencia je rovná základnej frekvencii vysielaného signálu $x(k)$. Cyklické frekvencie môžeme pokladať za známe, alebo ich môžeme zistiť a použiť ich k identifikácii vyslaných signálov. Napríklad OFDM signál je zmenený pred vyslaním kvôli vytvoreniu špecifických charakteristík alebo cyklických frekvencií. Tieto rysy slúžia k efektívnej klasifikácii signálu. Počet prvkov generovaných v signáli sa zvyšuje, aby sa zlepšila odolnosť voči viaccestnému šíreniu. Toto sa ale deje na úkor zvýšenia energetických nárokov a straty šírky prenosového pásma [1].

2.4. Snímanie spektra rádiovou identifikáciou (Radio Identification based detection)

Kompletné znalosti spektrálnych charakteristík sa môžu dosiahnuť identifikáciou prenosovej technológie, ktorú používa primárny používateľ. Takáto identifikácia umožňuje kognitívnemu rádiu s viacpriestorovými znalosťami poskytnúť väčšiu presnosť pri snímaní spektra. Na príklad môžeme uvažovať, že technológia, ktorú využíva primárny používateľ na prenos je identifikovaná ako Bluetooth signál. Kognitívne rádio si z tejto informácie dokáže vyvodiť, že priestor v ktorom vysielala táto technológia je okolo 10 metrov. Potom by mohlo kognitívne rádio komunikovať s identifikovaným komunikačným systémom cez nejakú aplikáciu. Identifikáciu rádiovkej technológie, získanie údajov o type signálu a priradeniu tohto signálu určitej technológii umožňuje európsky projekt TRUST. Cieľom tohto projektu je identifikovať prítomnosť známej prenosovej technológie. Dve hlavné vlastnosti sú inicializačný mód identifikácie (IMI) a alternatívny mód monitorovania (AMM). V IMI mode po zapnutí kognitívne zariadenie hľadá možný prenos údajov. AMM slúži k monitorovaniu ostatných prenosov počas toho ako kognitívne zariadenie komunikuje v určitom móde.

Pri snímaní spektra na základe rádiovkej identifikácie sa získa niekoľko parametrov z prijatého signálu a tie sú neskôr použité na identifikáciu prenosovej technológie, ktorú používa primárny používateľ na základe rôznych klasifikačných metód. Parametre ako sú množstvo energie a jej rozdelenie v spektre, šírka pásma a tvaru kanála môžeme získať rôznymi metódami. Šírka pásma a stredná frekvencia prijímaného signálu sa zistí pomocou energetického detektora. Získané hodnoty sa vložia do Bayesovho

klasifikátora na zistenie prítomnosti primárneho používateľa, čím zistíme možnosti využitia voľného priestoru v spektre. Štandardná odchýlka okamžitej frekvencie a maximálna doba trvania signálu sú získané použitím časovo-frekvenčnej analýzy a neuronové siete sú použité na identifikáciu aktívnych prenosov na základe týchto vlastností. Ďalšou možnosťou na klasifikáciu prijímaného signálu sú cyklické frekvencie. Identifikácia signálu prebieha na základe hľadania cyklostacionarity signálov pomocou skrytých markovových modelov. Ďalšia cyklostacionárna metóda je založená na zisťovaní spektrálnej korelačnej hustoty a spektrálnej koherenčnej funkcie [1].

2.5. Prispôsobený filter

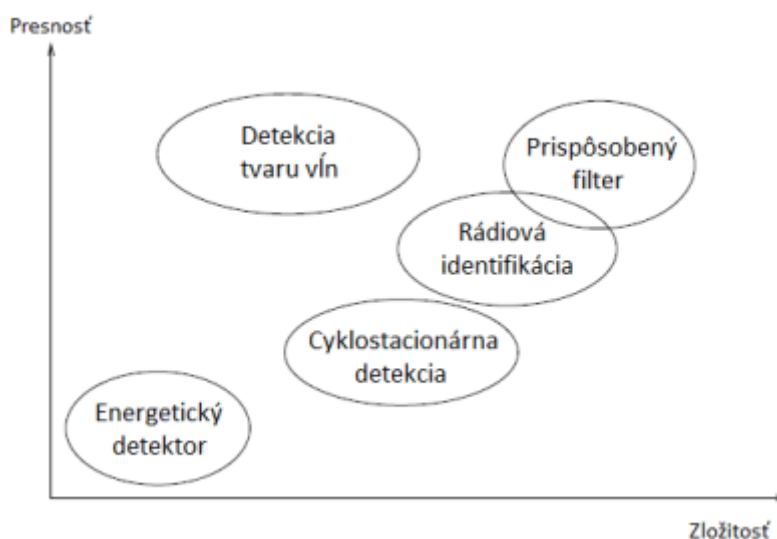
Prispôsobený filter je známy ako optimálna metóda pre detekciu primárnych používateľov ak je tvar signálu primárneho používateľa známi. Jeho najväčšou výhodou v porovnaní s ostatnými metódami je krátky čas, ktorý potrebuje na dosiahnutie rozhodnutia o pravdepodobnosti falošného alarmu alebo pravdepodobnosti zmeškanej detekcie. Požadovaný počet vzoriek pri metóde prispôbeného filtra rastie s hodnotou $O(1/\text{SNR})$ pre dosiahnutie pravdepodobnosti falošného alarmu pri nízkom SNR. Prispôsobený filter vyžaduje pre svoju funkčnosť, aby boli prijaté signály demodulované. Preto vyžaduje perfektnú znalosť o vlastnostiach signálu primárneho používateľa ako sú šírka pásma, operačná frekvencia, typ modulácie, tvar signálu a zloženie rámca. Pretože kognitívne rádio vyžaduje prijímače pre všetky typy signálov, tak implementovanie snímacej jednotky sa stáva zložitým. Ďalšou nevýhodou je, že prispôsobený filter má vysoké energetické nároky pretože veľké množstvo algoritmov musí byť vykonané pre účel detekcie [1].

2.6. Porovnanie rôznych metód snímania spektra

Základné porovnanie metód snímania spektra je na Obr. 1. Detekcia signálov podľa tvarov vln je odolnejšia ako energetický detektor alebo cyklostacionárna detekcia, kvôli koherentnému spracovaniu, ktoré vychádza z využitia deterministických signálových komponentov. Avšak signál musí obsahovať informáciu o vlastnostiach signálu primárneho používateľa a tí musia vysielat známe vzorky alebo pilotné signály. Účinnosť energetického detektora sa zníži ak nie sú splnené dva spoločné predpoklady. Ak šum nie je stacionárny a jeho disperzia nie je známa. Ďalšie problémy s energetickým detektorom zahrňujú filtračné účinky základného pásma a rušivé signály. V odbornej literatúre je uvedené, že cyklostacionárne metódy majú horšiu účinnosť ako metóda energetickým detektorom ak je šum stacionárny. Avšak vplyvom medzikanálovej interferencie sa šum stáva nestacionárnym. Preto metóda energetickej detekcie zlyháva zatiaľ, čo cyklostacionárna detekcia nie je nijako ovplyvnená. Na druhej strane cyklostacionárna detekcia je v nevýhode pri kanálovom úniku. Model neurčitosti vyhradí SNR pre cyklostacionárnu detekciu podobne ako aj u energetickej detekcie. Je známe, že cyklostacionárna detekcia je náchylná na posun časovej základne.

Pri vyberaní najvhodnejšej metódy pre snímanie spektra je potrebné zohľadniť niekoľko kompromisov. Hlavným faktorom pri výbere vhodnej metódy sú charakteristiky primárneho používateľa. Cyklostacionárne rysy obsiahnuté v signáli, existencia pravidelne vysielaných pilotných impulzov, časovo-frekvenčné

charakteristiky, všetky sú dôležité. Ďalšie charakteristiky zahrňujú požadovanú presnosť, požiadavky na čas snímania, výpočtový výkon a požiadavky siete. Odhad prevádzky v špecifikovanej geografickej oblasti sa môže vykonávať lokálne (jedným kognitívnym rádiom) použitím jednou zo spomínaných metód snímania spektra. Avšak je možné vykonávať snímanie spektra použitím viacerých kognitívnych rádii a kombináciou informácií z iných zariadení získame presnejšie informácie o využití spektra v konkrétnej oblasti. Ide o kooperatívne snímanie spektra kde viac zariadení kognitívneho rádia môže pracovať spoločne na úlohe snímania spektra [1].



Obr. 5 Porovnanie jednotlivých metód

3. Snímanie spektra v súčasných bezdrôtových štandardoch

3.1. IEEE 802.11k

Ide rozšírenie štandardu 802.11, ktorý navrhuje niekoľko typov meraní. Niektoré typy meraní zahrňujú správu o vyťažení kanála, histogram šumu, správu o štatistickom stave. Histogram šumu predstavuje metódy na meranie úrovne interferencie, ktorá zobrazuje všetky energie signálov ktoré sú prítomné v kanáli okrem 802.11 signálov, ktoré prijme používateľské zariadenie. Prístupový bod zbiera údaje o kanále z každej mobilnej jednotky, a tak vykonáva svoje vlastné merania. Tieto údaje sú neskôr využité k regulácii prístupu k danému kanálu, ktorý riadi prístupový bod. Snímaná respektíve odmeraná informácia sa taktiež používa k zlepšeniu prerozdelenia prevádzky v rámci siete. Bezdrôtové zariadenia vo WLAN sa zvyčajne pripájajú k prístupovému bodu s najsilnejším signálom. Tento prístup nie je optimálny a v niektorých prípadoch môže spôsobiť preťaženie na jednom prístupovom bode a nevyžitie kapacity na inom prístupovom bode. V 802.11k ak je prístupový bod s najsilnejším signálom celkovo vyťažený, tak potom používateľské zariadenie je priradené k prístupovému bodu s menej využitou kapacitou. Aj napriek tomu, že úroveň prijatého signálu je slabšia, tak celková priepustnosť systému je lepšia vďaka viac efektívnemu využitiu sieťových prostriedkov [1].

3.2. Bluetooth

Táto technológia využíva metódu, ktorá sa nazýva adaptívne frekvenčné kľúčovanie (AFH) ktorá sa používa na redukciu interferencie medzi rôznymi bezdrôtovými

technológiami pracujúce v nelicencovanom frekvenčnom pásme 2,4 GHz. V tomto pásme zariadenia IEEE 802.11b/g, bezšnúrové telefóny alebo mikrovlnné rúry používajú rovnakú frekvenciu ako bluetooth. AFH identifikuje prenosové frekvencie v ISM pásme a vyhýba sa využitiu týchto frekvencií. Tým sa dosiahne zníženie úzkopásmovej interferencie, dosiahne sa lepšia chybovosť BER systému a znížia sa energetické nároky. AFH vyžaduje algoritmy pre snímanie spektra pre odhalenie prítomnosti iných zariadení v ISM pásme a potrebuje sa rozhodnúť, či sa im ma vyhnúť alebo nie. Algoritmy snímania spektra sú založené na štatistike získanej z meraní na zistenie, ktorý kanál je obsadený, a ktorý je voľný. Kanálové štatistiky môžu byť paketová chybovosť, BER, indikácia sily prijatého signálu RSSI, pomer výkonu nosnej k interferencii plus šum CINR a ďalšie iné metriky. Tieto merania charakterizujú kanál ako dobrý, zlý alebo neurčitý [1].

3.3. IEEE 802.22

IEEE 802.22 je známy ako štandard kognitívneho rádia, pretože v sebe obsahuje kognitívne prvky. Tento štandard je stále v štádiu vývoja. Jedným z najcharakteristickejších znakov tohto štandardu sú jeho požiadavky na snímanie spektra. IEEE 802.22 je založené na regionálnych bezdrôtových sieťach WRAN kde zariadenia snímajú spektrum, ktorým sa prenáša televízne vysielanie a identifikujú možnosti voľných miest na prenos informácií. Snímanie spektra je založené na dvoch fázach: rýchle a presné snímanie. Vo fáze rýchleho snímania sú využité základné snímacie algoritmy ako je napríklad energetický detektor. Fáza presného snímania je založená na výsledkoch rýchleho snímania. Presné snímanie zahŕňa detailnejšie snímanie kde sú použité efektívnejšie snímacie algoritmy. Niektoré techniky, ktoré boli navrhnuté a zahrnuté v koncepte štandardu zahrňujú energetický detektor, cyklostacionárnu detekciu a prispôsobený filter. Základová stanica môže rozdistribúovať snímaciu záťaž medzi používateľskými stanicami. Výsledok výpočtu je poslaný naspäť základovej stanici, ktorá použije tieto výsledky pre riadenie prenosov.

Ďalší prístup pre riadenie spektra v IEEE 802.22 zariadení je založený na centralizovanej metóde pre objavenie spektrálnej dostupnosti. Základové stanice budú vybavené prijímačom globálneho pozičného systému, ktorým budú oznamovať svoju polohu. Údaje o lokalizácii budú potom použité na získanie informácií z centrálného servera o dostupných televíznych kanáloch. Pre nízkovýkonové zariadenia pracujúce v televíznych pásmach napríklad bezdrôtové mikrofóny, bezdrôtové fotoaparáty, je navrhované externé snímanie ako alternatívna technika. Tieto zariadenia pravidelne vysielajú tzv. 'beacons' s vyššou výkonovou úrovňou. Tieto beacons sú monitorované IEEE 802.22 zariadeniami na detegovanie prezencie nízkovýkonových zariadení, ktorých prítomnosť je ťažko zdetegovať kvôli nízkovýkonovým prenosom [1].

4. Záver

Cieľom tejto práce bol opis a porovnanie vhodných techník pre snímanie spektra v kognitívnom rádiu. Táto technológia musí byť schopná pracovať v rôznych častiach rádiového spektra napríklad ISM pásmo, televízne pásmo a iné. V každej časti rádiového spektra majú elektromagnetické vlny rôzne vlastnosti. Preto môže jedna technológia pracovať v danom pásme efektívne, ale v inom pásme to už platiť nemusí. Musíme tiež brať do úvahy vlastnosti jednotlivých techník snímania ako sú výkonové

nároky, zložitosť výpočtu, efektívnosť danej metódy vo danom pásme. Lepšie výsledky môžu byť dosiahnuté kombináciou rôznych metód snímania spektra, alebo vytvorením kooperatívneho snímania spektra. Informácie dostupnosti spektra v danej lokalite môžu byť uložené v databáze servera, s ktorým môžu komunikovať zariadenia kognitívneho rádia.

Zoznam použitej literatúry

1. Yucek, T. – Arslan, H.: A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 11, NO. 1, FIRST QUARTER 2009,
2. Chandran A.: Evaluation of Energy Detector based Spectrum Sensing for OFDM Based Cognitive Radio. Proceedings of the International Conference on Communication and Computational Intelligence - 2010, Kongu Engineering College, Perundurai, Erode, T.N., India. 27 - 29 December, 2010. pp. 163-167
3. Shankar S.: Spectrum agile radios: utilization and sensing architectures. Proc. in IEEE Int. Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, Baltimore, Maryland, USA, Nov. 2005, pp. 160-169.
4. Tang H.: Some physical layer issues of wide-band cognitive radio systems. Proc. in IEEE Int. Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, Baltimore, Maryland, USA, Nov. 2005, pp. 151-159.
5. Cabric D.: Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios. Proc. in Asilomar Conf. On Signals, Systems and Computers, vol. 1, Pacific Grove, California, USA, Nov. 2004, pp. 772-776.

Spoluautorom článku je Lukáš Sendrei, Katedra elektroniky a multimediálnych komunikácií, FEI TU Košice, Letná 9, 042 00 Košice
