

# ŠTATISTICKÁ DETEKCIA RÁDIOLOKAČNÝCH SIGNÁLOV

Gabriel Cibira

Katedra elektroniky, Akadémia ozbrojených síl, Liptovský Mikuláš, SR

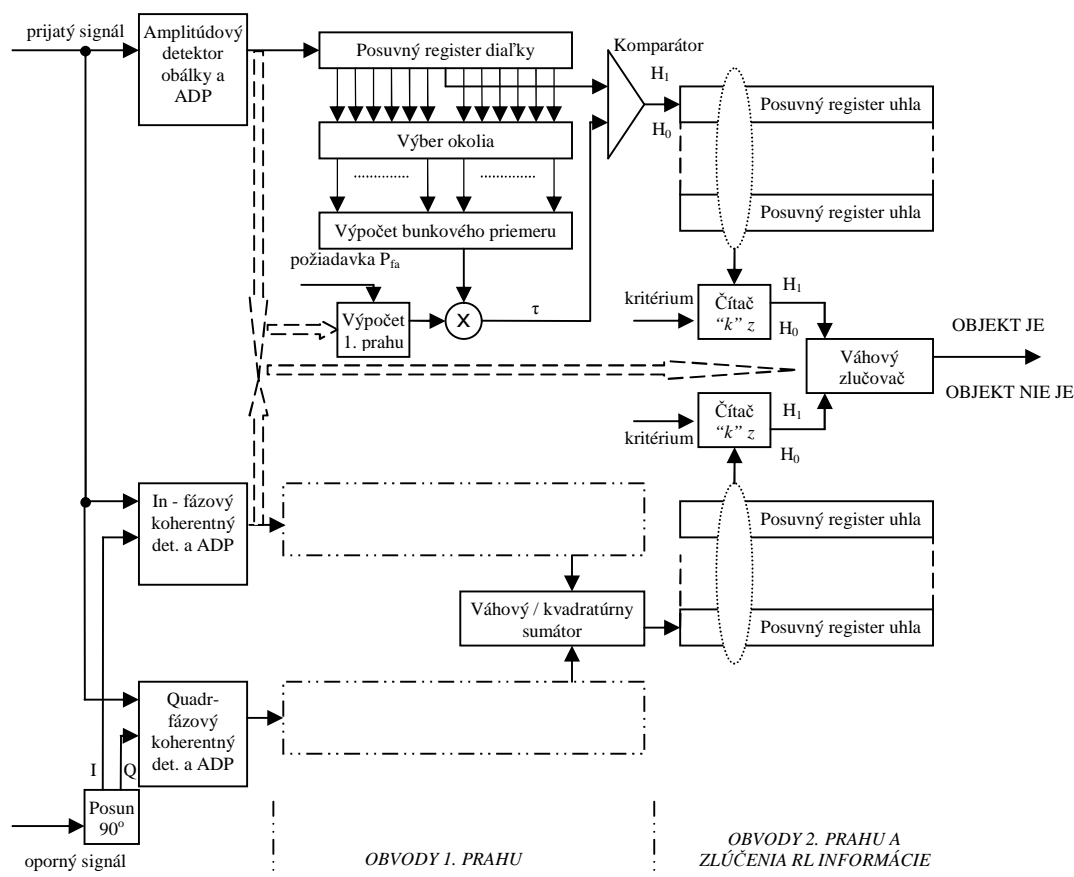
## Abstrakt:

Podsystemy zložitých elektromechanických zariadení, akými sú aj rádiolokátory, sú konštruované a optimalizované vo výrobe na dlhodobú životnosť a prevádzkovú spoľahlivosť.

V rádiolokátoroch je trvalo otvoreným problémom problematika spracovania echosignálov, prichádzajúcich do rádiolokačného prijímača, pretože prijímače sú optimalizované na extrakciu očakávaných (tzv. užitočných) signálov v štandardných podmienkach príjmu. Iba niektoré rádiolokačné aplikácie, medzi nimi najmä vojenské, sú vybavené analógovými elektrickými obvodmi umožňujúcimi adaptáciu vlastností prijímača. Súbežne s rozvojom teórie štatistickej detekcie a možnosťami modelovania a analýzy narastajú aj možnosti zvyšovania kvality spracovania rádiolokačných signálov. V príspevku je popísaný spôsob modelovania štatistických detektorov a ich adaptácie vzhľadom na parametre meniacej sa elektromagnetickej scény v Matlabe®.

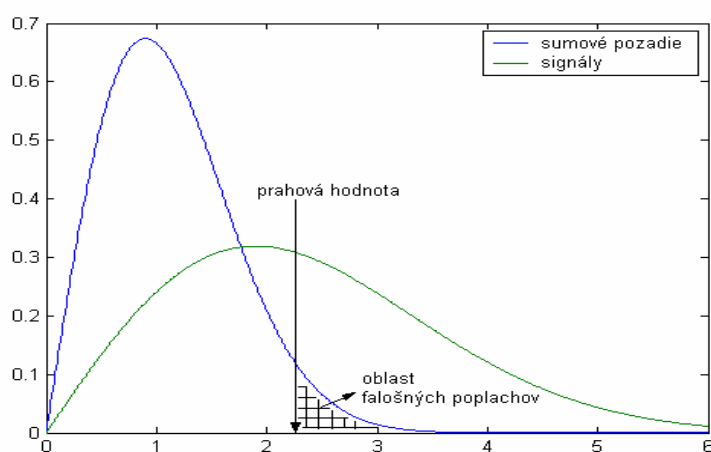
## Úvod k štatistickej detekcii v rádiolokátore

Pri zhoršení podmienok prijímania signálov sa účinne podieľa na extrakcii užitočných signálov podetektčné číslicové spracovanie. Jeho efektívne použitie vedie k zvýšeniu spoľahlivosti a stability detekcie užitočných signálov pri zachovaní stanovenej úrovne falošných poplachov CFAR (Constant False Alarm Rate). Samostatne je riešená amplitúdová a kvadrátúrna koherentná cesta spracovania medzifrekvenčných signálov vystupujúcich zo superheterodynového prijímača. Štatistická detekcia prebieha postupne obvodmi prvého a druhého prahu (Obr. 1).



Obr. 1: Miesto štatistickej detekcie v rádiolokátore

Obvod prvého prahu vykonáva štatistickú detekciu v posuvnom okne diaľky pri uplatnení požiadavky konštantného pomeru falošných poplachov pri rôznych fluktuáciách signálov (Swerlingove modely fluktuácií rádiolokačných objektov a fluktuácií pozadia príjmu, [2]). To znamená, že extrahuje užitočné signály tvorené odrazmi rádiolokačných objektov od neúžitocných signálov tvorených pozemnými odrazmi, meteorologickými odrazmi, rušením iných vysokofrekvenčných zdrojov, šumovým pozadím príjmu. Pre výpočet bunkového priemeru sa používa posuvné okno diaľky, realizované posuvným registrom. Technológiu výberu buniek okolia (najčastejšie CA-, GO-, SO-, OS-, TM-, ... -CFAR) pre danú aplikáciu navrhuje konštruktér na základe štatistiky ohodnotených vlastností signálov na výstupe prijímača a podľa úloh zadaných rádiolokátoru. Po výbere významných buniek sa vypočíta lineárny alebo geometrický priemer okolia testovanej bunky. Tento je spravidla násobený parametrom prahovej hodnoty, ktorá je vymedzená požiadavkou pomeru falošných poplachov (Obr. 2). Výsledok obvodu prvého prahu sa získa v komparátore, kde sa porovná úroveň signálu v testovanej bunke s pevne nastaveným alebo adaptívnym prahom  $\tau$ . Na základe porovnania do obvodu druhého prahu postúpi hypotéza o existencii objektu  $H_1$  alebo o neexistencii objektu  $H_0$ . Kvadráturňa koherentná cesta môže navyše pomocou dopplerovských frekvenčných filtrov odfiltrovať niektoré nežiadúce signály.

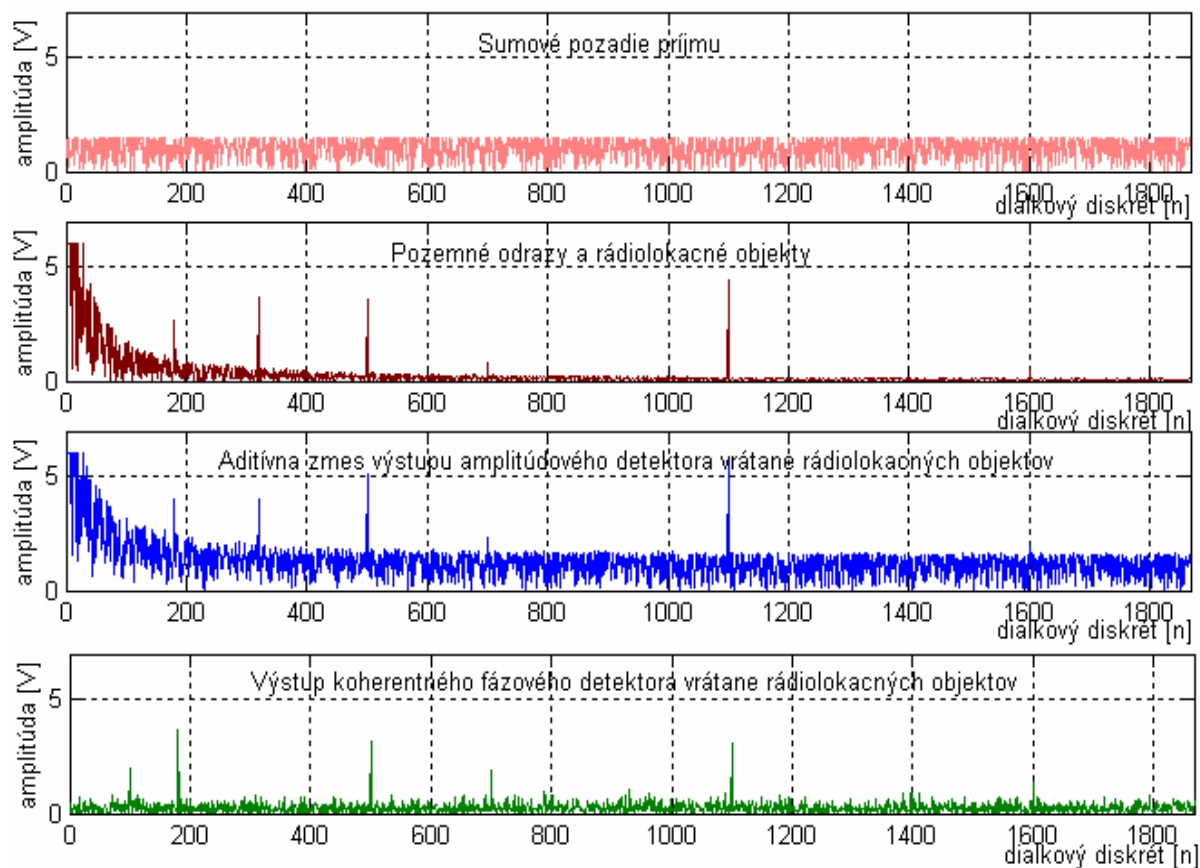


Obr. 2: Stanovenie prahu podľa pomeru falošných poplachov

V obvode druhého prahu sa vykonáva v posuvnom okne uhla podetekčná integrácia. Vykonáva sa zo stanoveného počtu „l“ periód príjmu, daného konštrukciou rádiolokátora (závisí od šírky a tvaru smerovej charakteristiky v uhle, rýchlosti pohybu smerovej charakteristiky pri prehľadávaní priestoru, opakovacej periódy vysielania / príjmu). Výsledky prvého prahu sa priebežne ukladajú do registrov po jednotlivých periódach príjmu. Čítač priebežne vyhodnocuje počet výskytov hypotéz  $H_1$  v stanovenom počte posuvných registrov uhla v príslušnej testovanej bunke (na adrese registra). Ak výskyt hypotézy  $H_1$  presahuje stanovené kritérium podetekčnej integrácie, v danej ceste spracovania je potvrdená hypotéza výskytu rádiolokačného objektu. Výsledky amplitúdovej a kvadráturnej koherentnej cesty sa zlučujú po posúdení závažnosti vo váhovom zlučovači kanálov. Výstupom je konečné rozhodnutie o existencii alebo neexistencii rádiolokačného objektu v testovanom elementárnom priestore detekcie.

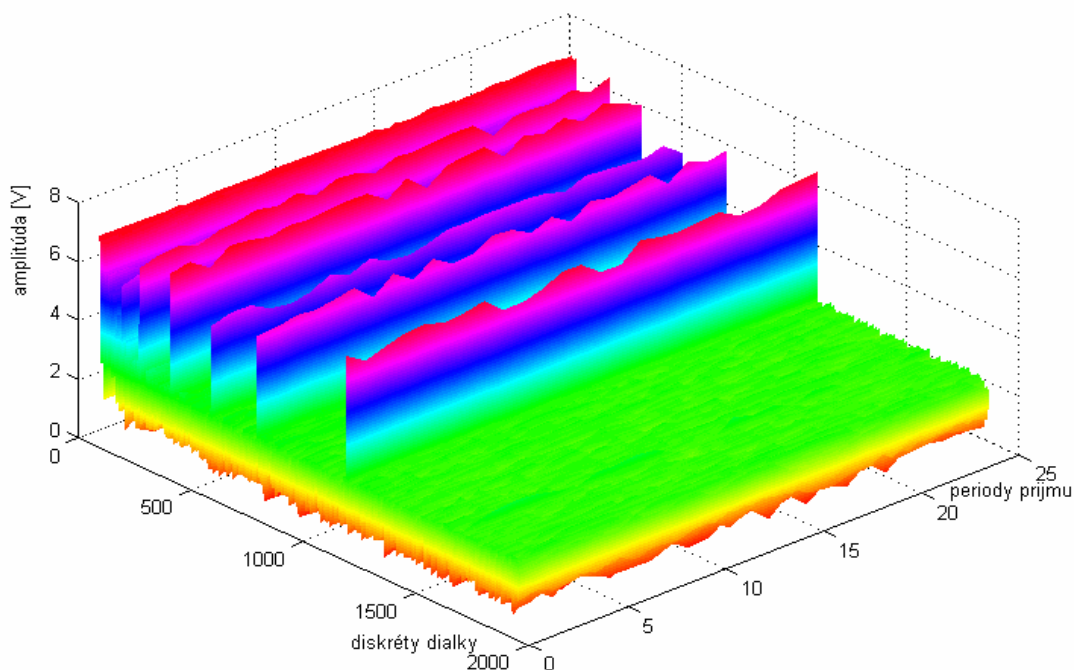
### Modelovanie šumového pozadia a signálov

Základné databázy šumového pozadia a ľubovoľných odrazených signálov je možné vytvárať pomocou funkcií štatistických nástrojov. Pri modelovaní impulzných rádiolokátorov je potrebné zohľadniť dĺžku periódy príjmu a dĺžku vysielacieho impulzu alebo šírku pásma prijímača. Je to nutné z dôvodu stanovenia podmienok vzorkovania signálu a stanovenia počtu diskkrétov diaľky. Príklad modelovania signálov je uvedený na Obr. 3, kde na 1867 diskrétoch diaľky je zo šumového pozadia príjmu, pozemných odrazov, odrazov od rádiolokačných objektov a impulzných rušení vytvorená aditívna zmes. Výstup jednej z koherentných ciest ukazuje časové súvislosti so signálmi amplitúdovej cesty, výstupy sú však rozdielne.



Obr. 3: Model signálov rádiolokátora v jednej perióde príjmu

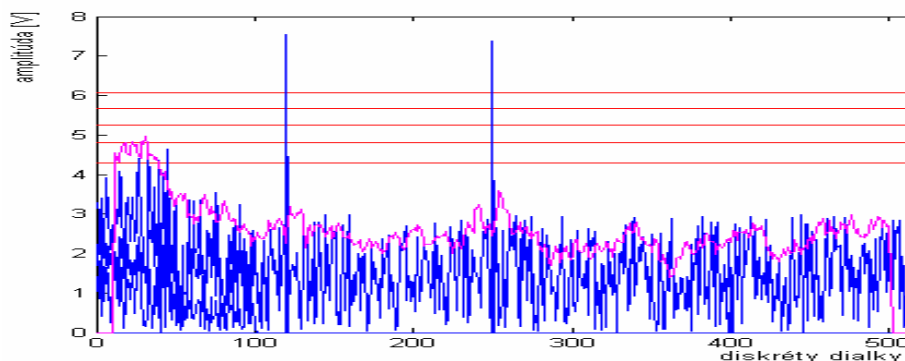
Dátová matica jednej periódy príjmu postačuje pre modelovanie činnosti obvodu prvého prahu v posuvnom okne diaľky. Pre modelovanie viacerých periód príjmu treba zohľadniť chaotické vlastnosti štandardného šumového pozadia a nesynchronných impulzných rušení. Medziperiódne závislosti úmyselných šumových rušení, pozemných odrazov, meteorologických odrazov a odrazov rádiolokačných objektov sú spravidla veľmi silné. Na nasledujúcom Obr. 4 je znázornený príklad modelu pre 25 periód príjmu.



Obr. 4: Model signálov rádiolokátora pre 25 periód príjmu

## Modelovanie obvodu prvého prahu

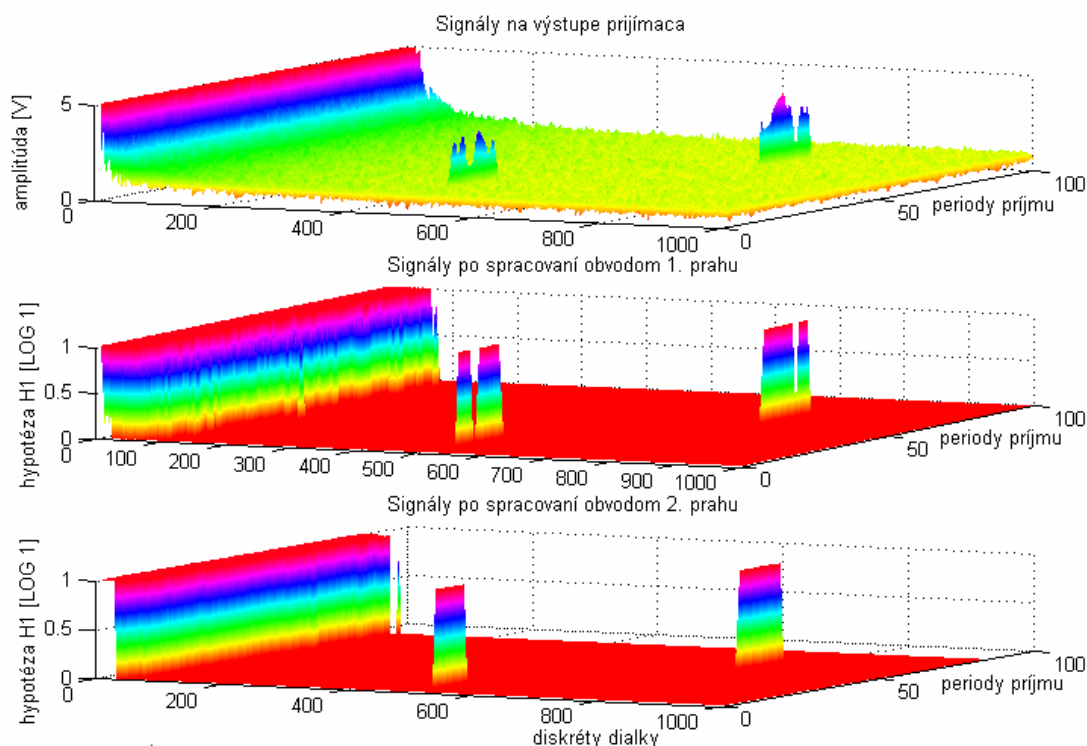
V perióde príjmu je potrebné vytvoriť posuvný register dialky o dĺžke niekoľko jednotiek až desiatok diskkrétov, v závislosti od zložitosti elektromagnetickej scény. V okne je možné štandardnými matematickými funkciami Matlabu<sup>®</sup> vykonávať výber štatisticky významných diskkrétov z okolia testovaného diskréty. Možnosti adaptácie sa ponúkajú aj pri vytváraní prahov, ktoré možno vopred stanoviť pre rôzne  $P_{fa}$  a následne ich použiť podľa potreby ako pevné prahové úrovne, alebo vykonať rýchle výpočty pre aktuálnu adaptáciu prahovej úrovne (Obr. 5). Adaptívny prah je komplikovanejší avšak účinnejší. Pri požiadavke, aby úroveň falošných poplachov  $P_{fa}$  nebola horšia ako  $10^{-9}$  (v moderných rádiolokátoroch sú dosahované úrovne až  $10^{-12}$ ) je potom potrebné veľmi precízne sledovať štatistické vlastnosti echosignálov a pri ich vychýlení okamžite adaptovať prah alebo zmeniť výber štatisticky významných diskkrétov z okolia testovaného diskréty. Účinnosť prvého prahu sa posudzuje ako závislosť pravdepodobnosti správnej detekcie  $P_d$  na pomere signál/šum (SNR).



Obr. 5: Päť úrovní pevných prahov a adaptívny prah

## Modelovanie obvodu druhého prahu

Je možné modelovať všetky tri typy podetekčných integrátorov: súčtový, binárny a adaptívny. V rádiolokátoroch sa dnes používajú takmer výlučne binárne integrátory, pracujúce ako čítače. Kritériom binárneho druhého prahu je stanovený počet výskytov hypotézy  $H_1$  na výstupe obvodu prvého prahu v stanovenom počte periód príjmu. Tento je daný rýchlosťou pohybu smerovej charakteristiky rádiolokátora a periodicitou ožarovania bodového objektu v priestore, spravidla ide rádovo najviac o desiatky periód príjmu. Objekty na Obr. 6 vykazujú dobré podmienky pre detekciu obvodmi prvého i druhého prahu.



Obr. 6: Signály rádiolokačného prijímača pred a po štatistickom spracovaní

## Záver

Potreba spracovania signálov rádiolokátorov pri rýchlom vývoji technológií a pri potrebe spracovania v reálnom čase kladie na zariadenie vysoké požiadavky. V podmienkach vysokej úrovne fluktuujúceho elektromagnetického smogu je možným východiskom rýchla adaptácia spracovania tohto veľkého množstva spracúvaných údajov.

Pred uvedením nových zariadení a modernizácií do praxe je potrebné dôkladne preveriť ich spoľahlivosť vo všetkých simulovateľných podmienkach. Matlab<sup>®</sup> ponúka nástroje pre štatistickú detekciu v rádiolokačnej oblasti. Umožňuje vytvárať vlastné funkcie a po doplnení knižníc funkcií simulovať deje prebiehajúce pri štatistickej detekcii:

- pomocou štatistického toolboxu rozmanito fluktuujúce rádiolokačné objekty a elektromagnetické pozadie prijímaných signálov na báze Swerlingových modelov,
- modelovať a analyzovať účinnosť obvodov prvého prahu,
- modelovať obvody druhého prahu,
- optimalizovať nastavenie "tvrdosti prahov" v obvodoch prvého a druhého prahu (pre praktické použitie musí adaptácia prebiehať v reálnom čase a bez potreby zásahu obsluhy),
- po zosnímaní signálov prijímača rádiolokátora, napríklad pomocou štandardnej viacnásobnej osciloskopickéj karty, možno vykonať štatistické testy reálnych signálov rádiolokátora.

## Literatúra

- [1] PEEBLES, P. Z., Jr.: Radar principles. John-Wiley & sons, Inc., NY, 1998.
- [2] NITZBERG, R.: Radar signal processing and adaptive systems. Artech House, Inc., Boston, 1999.
- [3] MAHAFAZA, B. R.: Radar systems analysis and design using Matlab. Chapman & Hall/CRC, NY, 2000.
- [4] Moon, T. K., Stirling, W. C.: Mathematical Methods and Algorithms for Signal Processing. Prentice Hall, NY, 2000.

## Kontaktná adresa:

Ing. Gabriel Cibira

Katedra elektroniky

Akadémia ozbrojených síl

Demänovská cesta 393

03101 Liptovský Mikuláš

Slovakia

e-mail: [cibira@aoslm.sk](mailto:cibira@aoslm.sk)