

Zobrazovanie statických objektov lokalizovaných za stenou pomocou UWB radaru so syntetickou apertúrou

Gamec Ján · Elektrotechnika, Informačné technológie

23.09.2013



Príspevok je venovaný zobrazovaniu statických objektov lokalizovaných za stenou prostredníctvom radaru s veľmi veľkou šírkou pásma, pričom pre vytváranie výsledného radarového obrazu radaru je použité meranie radarom so syntetickou apertúrou a metóda spätnej projekcie. Stimulačný signál radaru bol reprezentovaný binárnou M - postupnosťou, čo je pseudonáhodný šum, ktorý pokrýva veľmi veľkú šírku frekvenčného pásma. Zvýšenie priestorovej rozlišovacej schopnosti radaru sa tak dosahuje využitím pseudonáhodného šumu ako vysielaného signálu, a tiež syntézou apertúry. Príspevok obsahuje aj reálne namerané výsledky, na ktorých sú demonštrované použité metódy, prístupy a scenáre.

1. Úvod

Použitie viditeľného alebo infračerveného svetla pre skúmanie okolitého prostredia alebo štruktúry materiálov je limitované jeho schopnosťou prenikáť iba cez opticky transparentné materiály. Získavanie obrazov prostredí bez existencie priamej viditeľnosti je požiadavkou v mnohých oblastiach vedy, ale aj spoločenskej praxe. Takými sú medicína, geografia (sledujú sa štruktúry a objekty pod zemským povrchom, mapovanie terénu, ...), oblasť bezpečnosti (skenovanie batožín, obsahu nákladov vozidiel), ale aj oblasť záchrany ľudských životov (horiace budovy, zrúcaniny, osoby pod lavínou), prípadne oblasť protiteroristických akcií pre získanie informácií o lokalizácii osôb, rozmiestnení stien a výbavy interiéru, ale aj mnoho ďalších.

Schopnosť elektromagnetických vln prenikáť prostredím a spôsob, akým sa šíria, sú ovplyvňované mnohými faktormi, pričom k hlavným patria materiálové vlastnosti objektov prostredia a frekvencia, prípadne frekvenčné pásmo elektromagnetickej vlny. Využitie signálov s veľmi veľkou šírkou pásma (z angl. Ultra Wide Band - UWB, podľa rôznych definícií, buď najmenej 25% strednej frekvencie alebo 0,5 GHz) v zariadeniach pre aktívne snímanie priestoru (používa vlastný zdroj signálu pre ožarovanie sledovaného priestoru), ktoré sa označuje slovom radar (z angl. RAdio Detection And Ranging), umožňuje zvýšiť jeho rozlišovaciu schopnosť vo vzdialenosti [1]. Ak šírka pásma UWB signálu ovplyvňuje jeho rozlišovaciu schopnosť radaru, potom hodnota jeho strednej frekvencie vypovedá o schopnosti elektromagnetických vln prenikáť rôznymi materiálmi. Napr. UWB radary, ktoré slúžia pre podpovrchový prieskum zeme, efektívne pracujú vo frekvenčnej oblasti rádovo stoviek MHz. Na druhej strane

cez stavebné materiály sú elektromagnetické vlny schopné prenikáť s frekvenciami rádovo 100 MHz až 10 GHz.

Okrem výhod UWB radarov, akými sú veľmi nízka spektrálna výkonová hustota, vysoká odolnosť voči rušeniu a znížená schopnosť odhalenia, možno ako hlavnú považovať vysokú rozlišovaciu schopnosť pri meraní vzdialenosti. Existuje niekoľko základných typov UWB radarov [1], medzi ktoré patria najmä radary s pseudonáhodným šumom [2], FMCW - s kontinuálne frekvenčne modulovanou vlnou, impulzové radary [3], radary s generovaním M - postupnosti [2] atď. Tieto radary sa líšia najmä priebehom signálov, ktoré emitujú.

Celkovú priestorovú rozlišovaciu schopnosť radaru však do značnej miery ovplyvňujú vlastnosti jeho prijímacích a vysielacích antén. Pre vytváranie obrazov sledovaného priestoru existuje viacero prístupov. Jeden z prístupov je rastrovanie priestoru pomocou pohybujúcich sa antén alebo pomocou statických sústav antén s elektronicky ovládanou fázou vysielaného a prijímaného signálu. Pri rastrovaní priestoru sú pre zvýšenie priestorovej rozlišovacej schopnosti radaru žiaduce antény s čo najužšími vyžarovacími charakteristikami. Zužovanie vyžarovacích charakteristík antén je sprevádzané nárastom ich fyzických rozmerov (z nich je odvodený parameter apertúra). Extrémne rozmery antén bývajú často v rozpore s podmienkami realizovateľnosti a nárokmi na celkové rozmery zariadení, určených na snímanie objektov v dvojrozmernom (2D) alebo trojrozmernom (3D) priestore.

Technika, ktorá dovoľuje používať antény radarov menších rozmerov, sa nazýva syntéza apertúry. Takéto radary sú označované ako radary so syntetickou apertúrou (z angl. Synthetic Aperture Radar - SAR). Hlavnou myšlienkou SAR je mnohonásobné snímanie priestoru z rôznych pozícií, ktoré sú od seba podstatne viac vzdialené ako sú rozmery antén a následné „vyskladanie“ obrazu snímaného priestoru z prijatých impulzových odpovedí [4]. Z uvedeného vyplýva, že pri vytváraní obrazov priestoru s vysokým rozlíšením pomocou radaru je nutné zohľadniť viacero požiadaviek, ktoré často bývajú vzhľadom na aplikáciu protichodné. Ak sú hlavnými požiadavkami zobrazovanie priestoru bez priamej viditeľnosti, vysoká rozlišovacia schopnosť vytvoreného obrazu, čo najmenšie rozmery zariadenia a relatívne nízka cena, potom veľmi efektívnym riešením je použitie UWB radaru so syntetickou apertúrou.

V nasledujúcich častiach príspevku je opísaná metóda difrakčnej sumácie, ktorá patrí medzi najčastejšie používané metódy spracovania signálov získaných SAR [8] v oblasti UWB radarov. Jej výhodou je, v porovnaní s inými metódami vytvárania radarových obrazov, relatívne nižšia výpočtová zložitosť. Ďalej sú v príspevku opísané základné princípy činnosti UWB radaru, emitujúceho tzv. M - postupnosť, ako aj reálne výsledky experimentov zobrazovania statických objektov lokalizovaných v priestore s priamou viditeľnosťou od radaru, aj objektov umiestnených za prekážkou (za stenou) v priestore bez priamej viditeľnosti. Cieľom týchto experimentov bolo overiť metodiku SAR zobrazovania statických objektov prostredníctvom UWB radaru.

2. Radar so syntetickou apertúrou

Radary sú aktívne senzory, čo znamená, že pre vytvorenie obrazu pozorovaného priestoru využívajú svoj vlastný zdroj elektromagnetického žiarenia, ktoré je

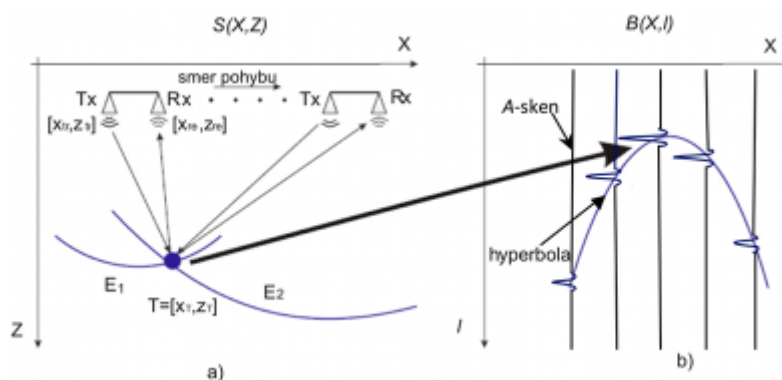
vyžarované vysielačou anténou. V prípade, ak vysielačia anténa má malé rozmery (v porovnaní s vlnovou dĺžkou vysielačného signálu), potom je vysielačný výkon vyžarovaný do širokého priestoru, čím klesá výkonová hustota, a tým aj úroveň prijímaného odrazeného výkonu, ktorá môže klesnúť pod prah šumu. Riešením je znižovanie ožarovaného priestoru zužovaním vyžarovacej charakteristiky vysielačnej antény, čo ale vyžaduje nárast rozmerov antény (nárast apertúry), prípadne použitie sústavy antén. Na druhej strane sa pre vytvorenie obrazu z prijatého odrazeného signálu môžu použiť buď sústavy prijímacích antén (kanálov) s následnou fúziou dát z nich alebo využiť rastrovací prístup, pri ktorom sa obraz získava pomocou buď rotačného alebo lineárneho pohybu vysielačnej aj prijímačnej antény s veľmi úzkym vyžarovacím diagramom.

Priestorová rozlišovacia schopnosť je však silne závislá od tvaru vyžarovacích charakteristík najmä prijímacích antén, a tým od ich rozmerov. Pre dosiahnutie vysokej rozlišovacej schopnosti by rozmery antén narástli do extrémnych hodnôt. Radary, ktorými sa dá dosiahnuť vysoká priestorová rozlišovacia schopnosť použitím antén relatívne malých rozmerov, sa označujú ako radary so syntetickou apertúrou. Využíva sa pri nich kombinácia spomínaných prístupov t.j. fúzia dát (z jednej alebo viacerých prijímacích antén) a rastrovanie priestoru pomocou pohybujúcich sa vysielačích aj prijímacích antén. Ak by vysielačia a prijímačia anténa boli na jednej fixnej pozícii a scéna by bola statická, potom z K meraní by sa získalo K takmer identických impulzových odpovedí prostredia (líšili by sa iba šumom). Súbor impulzových odpovedí by neposkytoval dostatok informácii (pozícia, rozmery) o objektoch v snímanom priestore. Zmenou pozície antén sa získava K rôznych impulzových odpovedí prostredia, čo umožňuje vytvorenie obrazu vyšetřovaného priestoru ako aj presnosť pozície objektov v ňom.

Základný priestorový model SAR v 2D priestore je zobrazený na obr.2, kde radarový merací systém (obr. 2a) pozostáva z jednej vysielačnej antény (Tx) a jednej prijímačnej antény (Rx). Tx so súradnicami $[x_{tr}, z_{tr}]$ v priestore $S(X, Z)$ vysiela elektromagnetickú vlnu, ktorá sa odráža od objektov v sledovanom priestore. V prípade, ak v sledovanom priestore sa uvažuje jeden bod, ktorý odráža elektromagnetickú energiu a ten má súradnice $T = [x_T, z_T]$, potom prijímačia anténa Rx so súradnicami $[x_{re}, z_{re}]$ prijme odrazený signál ako impulzovú odpoveď celého prostredia. V prípade, že v priestore $S(X, Z)$ sa uvažuje iba jeden reflexný bod T, impulzová odpoveď bude v ideálnom prípade (nedisperzné prostredie šírenia, antény s neobmedzenou šírkou pásma, atď.) predstavovať jeden úzky impulz. Ak sa v prostredí nachádza viacero reflexných bodov, potom prijatý signál je superpozíciou odrazených vln od všetkých bodov. Poloha reflexného bodu a polohy antén tak vytyčujú dráhu, ktorú prekoná elektromagnetická vlna od vysielačnej antény cez reflexný bod späť do prijímačnej antény. Dĺžka dráhy sa určí z rýchlosti šírenia vlny v prostredí a časovej polohy impulzu v impulzovej odpovedi.

Keďže poloha vysielačnej a prijímačnej antény nemusí byť rovnaká, potom jednej časovej polohe impulzu v jednej impulzovej odpovedi odpovedá v priestore $S(X, Z)$ množina bodov, ktoré ležia na elipse (na kružnici, ak pre vysielačie a príjem sa používa jedna anténa). Stred a ohnisko tejto elipsy sú dané pozíciou vysielačnej a prijímačnej antény a poloosi sú dané vzdialenosťou reflexného bodu od nich. Z jednej časovej polohy impulzu v jednej impulzovej odpovedi, ináč označovaná ako A-sken, teda nie je možné jednoznačne určiť polohu reflexného bodu. Ak sa poloha vysielačnej aj prijímačnej antény

mení, napr. pozdĺž osi X priestoru $S(X, Z)$, potom je možné zaznamenať súbor impulzových odpovedí (A-skenov), ktoré vytvoria dvojrozmernú štruktúru tzv. B-sken (obr. 2b), resp. $B(X, l)$ priestor. V $B(X, l)$ priestore, kde X je súradnica identická ako v priestore $S(X, Z)$ a l je poloha (poradie) vzorky digitalizovanej impulzovej odpovede, ležia impulzy jednotlivých impulzových odpovedí jedného reflexného bodu na úseku krivky tvaru hyperboly. Parametre hyperboly sú určené vzájomnou pozíciou antén a reflexného bodu. V ďalších častiach bude opísaný postup ako sa z B-skenu vytvorí späťne obraz priestoru $S(X, Z)$.



Obr.2. a) 2D priestorový model SAR, b) B-sken pre jeden reflexný bod v priestore $S(X, Z)$

2.1. Migrácia

Pod pojmom migrácia sa rozumie transformácia priestoru $B(X, l)$ do priestoru $S(X, Z)$, čo znamená vytvorenie obrazu v priestore $S(X, Z)$ zo súboru impulzových odpovedí, získaných pre rôzne pozície vysielacích a prijímacích antén. Za posledných tridsať rokov bolo vyvinutých mnoho migračných metód [5], [6], [8]. Tieto metódy zobrazovania sa líšia hlavne použitým matematickým aparátom pri ich odvodení, zložitou výpočtu, precíznosťou zobrazenia, atď. Je ich možné rozdeliť do dvoch hlavných tried:

1. Algoritmy spätného šírenia sa (backpropagation algoritmy), založené na riešení vlnovej rovnice.
2. Algoritmy spätnej projekcie (backprojection algoritmy), založené na geometrickom prístupe.

Trieda backpropagation algoritmov zahŕňa najviac migračných algoritmov, z ktorých azda najznámejšou je Kirchhoffova migrácia. Kirchhoffova migrácia [8] je z matematického hľadiska značne komplikovaným algoritmom, ktorý bol vyvinutý pre účely seizmológie, a taktiež pre detekciu mín pod zemským povrchom. Na jej odvodenie sa používa Gaussova a Greenova teoréma. Vychádza z detailného opisu amplitúdy, fázy a tvaru vlnoplochy, ktorá sa pohybuje v prostredí s rôznou rýchlosťou šírenia. Ďalším typom migrácie z triedy backpropagation algoritmov je Stoltova migrácia [9], ktorá vytvára obraz s využitím Fourierovej transformácie. Je založená na riešení vlnovej rovnice vo frekvenčnej oblasti a je často označovaná termínom FK migrácia. Využíva výhody výpočtu týchto transformácií pomocou rýchlej Fourierovej transformácie (FFT). Tým sa dosiahne nižšia výpočtová náročnosť v porovnaní s ostatnými integrálnymi prístupmi v časovej oblasti. Jej najväčším nedostatkom je to, že si vyžaduje mriežku rovnomerne rozložených dát, čo spôsobuje obmedzenia pre jej

praktické aplikácie. Jej reálna implementácia si okrem uvedeného vyžaduje interpoláciu.

Do skupiny backprojection algoritmov patrí zobrazovanie pomocou tzv. difrakčnej sumácie (z angl. diffraction summation). Táto trieda algoritmov realizuje iba priestorové posúvanie (priestorovú transformáciu) dát a zaostrovanie. Nedochádza tu ku koordinácii amplitúdy a fázy vlny počas migrácie. Pri tomto type migrácií sa vlnová rovnica neberie do úvahy, čo ju hendikepuje pri aplikáciách zobrazovania vo vysokom rozlíšení. Avšak, tento algoritmus je pomerne flexibilný, jednoducho sa implementuje a ľahko aplikuje. Preto je mu v tomto príspevku venovaná zvláštna pozornosť. V ďalšom budú opísané experimenty zobrazovania SAR na báze tzv. difrakčnej sumácie.

2.2. Postup vytvorenia obrazu metódou difrakčnej sumácie

Skôr, ako sa pozornosť obráti na samotný algoritmus, je treba poznamenať, že anténami prijaté a zosilnené signály sú podrobené predspracovaniu, a to:

- interpolácii signálu v časovej oblasti,
- odhadu času nula,
- odstráneniu presluchov a
- dekonvolúcii.

Úlohou interpolácie v čase je vytvorenie "medzi" vzoriek z pôvodných vzoriek. Aplikovaním tohto postupu dôjde k presnejšiemu odhadu času nula, odčítaniu presluchu. Taktiež je pre presnejšiu realizáciu migrácie potrebné hustejšie rozloženie vzoriek impulzových odpovedí v danom časovom intervale. V našich experimentoch bola realizovaná interpolácia impulzových odpovedí pomocou kubickej spline-ovej interpolácie (tzv. „cubic spline interpolation“). Výsledný B-sken je označovaný B(X,l) (obr. 2b).

Pre správne určenie času šírenia signálu medzi vysielačom, cieľom a prijímačom, je nutné nastaviť čas nula $\tau(l)$, t.j. časový okamih, v ktorom vysielač anténa začala vysielat prvý impulz (čip) M - postupnosti (vysielač anténa ju vysielala cyklicky). Prakticky to znamená, že prijímané impulzové odpovede sú v B-skene cyklicky posúvané vzhľadom na os l tak, aby polohy impulzov v impulzových odpovediach odpovedali reálnej vzdialenosti potenciálnych odrážajúcich objektov. Na realizáciu tohto kroku treba vykonať referenčné meranie.

Presluch (z angl. Crosstalk) C(l) predstavuje priamu vlnu medzi vysielačom a prijímačom anténou a nakoľko nenesie žiadne informácie o meraných objektoch, je žiaduce ho odstrániť, no ešte predtým je vhodné ho použiť pre odhad času nula. C(l) je možné v prijatej impulzovej odpovedi rozpoznať ako prvý a zároveň najväčší vrchol. C(l) vzniká pri každom meraní a je možné ho odčítať z nameraných údajov. Primárne radarové signály (impulzová odpoveď prostredia, ktorým sa šíri elektromagnetická vlna vysielaná radarovým systémom) odrážané od cieľa sú pri meraní, okrem prostredia, ovplyvňované impulzovou odpoveďou meracích antén a taktiež aj celého radarového systému. Čiastočné potlačenie týchto negatívnych vplyvov je možné práve dekonvolúciou, čím sa odstráni vplyv impulzovej odpovede $h_s(l)$ radarového systému. Operáciu dekonvolúcie možno vyjadriť vzťahom:

$$B_p(X, l) = B(X, l) \cdot h_s^{-1}(l) \quad (1)$$

kde $B_p(X, l)$ predstavuje B-sken po dekonvolúcii, $B(X, l)$ je B-sken po interpolácii s nastaveným časom nula po odstránení presluchu, $h_s^{-1}(l)$ je inverzná impulzová odpoveď radarového systému a $*$ predstavuje operáciu konvolučného súčinu. Dekonvolúcia je zvyčajne implementovaná vo fáze kalibrácie radarového systému. Dekonvolúcia sa vykonáva väčšinou vo frekvenčnej oblasti, nakoľko operácia konvolučného súčinu v časovej oblasti predstavuje vo frekvenčnej oblasti jednoduchý súčin. Samotná rekonštrukcia obrazu zo získaného BP-skenu znamená výpočet všetkých hodnôt obrazových prvkov sledovanej oblasti, zohľadnením príspevkov konkrétnych prvkov (čipov) jednotlivých predspracovaných impulzových odpovedí. Treba povedať, že nie každý prvok jednej predspracovanej impulzovej odpovede sa podieľa na hodnote obrazového prvku rekonštruovaného obrazu priestoru $S(X, Z)$. Vysvetlením je tzv. mapovanie jedného reflexného bodu z priestoru $S(X, Z)$ do priestoru $B(X, l)$ v tvare hyperboly, ktoré bolo opísané v úvode kapitoly.

Čas príchodu signálu TOA (z angl. Time Of Arrival) je časový interval, za ktorý je signál vyslaný z vysielača, odrazený od cieľa a späť prijatý prijímačom. Pre pozíciu antény vysielača so súradnicami $T_x = [x_{tr}, z_{tr}]$, pozíciu antény prijímača so súradnicami $R_x = [x_{re}, z_{re}]$ a pozíciu bodového cieľa (bodového reflektora) so súradnicami $T = [x_T, z_T]$ je čas príchodu signálu daný vzťahom:

$$TOA = \frac{\sqrt{(x_{tr}-x_T)^2+(z_{tr}-z_T)^2} + \sqrt{(x_T-x_{re})^2+(z_T-z_{re})^2}}{v} \quad (2)$$

kde v je rýchlosť šírenia elektromagnetickej vlny (vo vákuu rýchlosť svetla c). Vzťah platí len pre konštantnú rýchlosť elektromagnetickej vlny, ak je vyšetované prostredie homogénne. Ak elektromagnetická vlna postupuje prostredím s rozmanitými podmienkami šírenia (napr. prestupuje cez stenu s odlišnou relatívnou permitivitou a následne sa šíri vzduchom), potom pre správnejší výpočet TOA, t.j. pre správnejší prevod medzi časom a vzdialenosťou, sa môže výpočet realizovať sčítaním jednotlivých dráh, ktoré vlna prejde v jednotlivých prostrediach. Nameraný a predspracovaný signál $B_p(X, l)$ prijatý v danom čase môže byť odrazený od všetkých bodov, ktoré ležia v mieste, kde je TOA konštantný. Proces migrácie transformuje predspracované radarové signály $B_p(X, l)$ späť na skutočné priestorové signály $S(X, Z)$. Najprv je vytvorená priestorová mriežka (matica obrazu) s požadovaným rozlíšením v migračnom obraze $I(X, Z)$. Pre každý prvok migračného obrazu s pozíciou (x_T, z_T) sa vypočíta TOA vo všetkých K pozíciách antén. Hodnota každého obrazového prvku $I(x_T, z_T)$ v migračnom obraze sa vypočíta ako priemer tých prvkov z oblasti $B_p(X, l)$, pre ktoré je TOA konštantný. Výsledné hodnoty obrazových prvkov migračného obrazu je možné vyjadriť:

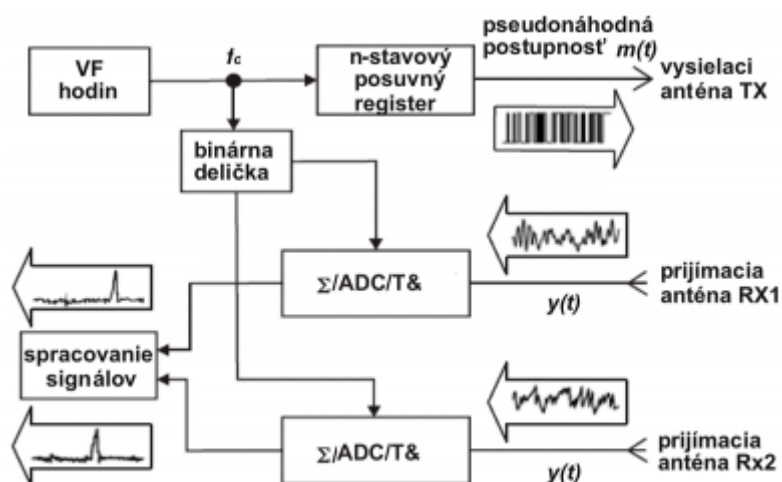
$$I(x_T, z_T) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K B_{Pk}(X, l = TOA_k) \quad (3)$$

kde K je počet pozícií antén skenovania SAR, $B_{Pk}(X, l=TOA_k)$ sú hodnoty prvkov B_p -skenu pre pozíciu (X, l) , pri ktorých platí, že majú konštantný čas TOA pre prvok migračného obrazu s pozíciou (x_T, z_T) . Teoreticky táto migrácia geometricky zaostruje hyperbolu z $B_p(X, l)$ do jedného bodu v $I(X, Z)$, resp. $S(X, Z)$. Samozrejme nie je to ideálny spôsob, a preto vytvára veľké množstvo artefaktov. Táto migrácia sa zvykne

často chybne označovať aj ako Kirchhoffova migrácia.

3. Experimenty a výsledky

V našom príspevku uvidíme výsledky meraní a spracovania signálov získaných UWB radarom so syntetickou apertúrou, zameraných na interpretáciu zobrazenia statických objektov vo voľnom priestore a statických objektov za stenou. Tými objektmi boli keramická tabuľa s rozmermi 0,91 m × 1,21 m a hrúbkou 5 cm, pričom z jednej strany bola na tabuľi hliníková fólia a plechová platňa s rozmermi 0,51 m × 0,53 m a hrúbkou 1 mm. Pri našich experimentoch bol použitý UWB radar emitujúci M - postupnosť s jednou vysielačou anténou a dvomi prijímacími, ktorého bloková schéma je na obr.1 [2].



Obr.1. Bloková schéma UWB radaru emitujúceho M - postupnosť

Činnosť UWB radaru možno stručne opísať nasledovným spôsobom. Emitovaná M - postupnosť (v obr. 1 pseudonáhodná postupnosť $m(t)$) sa vytvára v n - stavovom posuvnom číslicovom registri, ktorý je na hodinovom vstupe riadený vysokofrekvenčným hodinovým signálom f_c . M- postupnosť sa generuje periodicky a jedna perióda obsahuje $N=2^n-1$ náhodne sa vyskytujúcich impulzov. Prijímaný signál je označený ako $y(t)$. Tento signál je filtrovaný dolným priepustom a následne je formou podvzorkovania (niekedy označovaná ako strobovací metóda) prevedený do číslicovej formy použitím obvodu ADC. Ďalej nasleduje číslicové spracovanie signálu [1]. Vlastnosťou vysielačnej M - postupnosti je veľmi široké spektrum a jej autokorelačná funkcia predstavuje veľmi úzky impulz.

Vypočítaná vzájomná korelačná funkcia medzi vysielačnou M - postupnosťou a prijatým odrazeným signálom odpovedá impulzovej odpovedi prostredia. Časová poloha špičiek vzájomnej korelačnej funkcie korešponduje s priestorovou pozíciou odrážajúcich objektov. Čím je frekvencia f_c vyššia, tým je odhad pozície odrážajúceho objektu presnejší. Tvar vzájomnej korelačnej funkcie je podobný ako ten, ktorý by mal prijatý signál, ak by na výstupe vysielača bol periodicky vysielačným veľmi úzkym impulzom (teoreticky Diracov impulz). Použitý radar pre realizáciu experimentálnych meraní mal nasledujúce parametre:

- frekvencia hodín, ktoré riadia generátor M - postupnosti: 4,5 GHz,

- dĺžka impulzovej odpovede / doba trvania: 511 vzoriek / 114 ns,
- rýchlosť merania: 13,5 impulzových odpovedí za sekundu,
- vyžarovaný výkon: 1mW,
- dosah: 17 metrov.

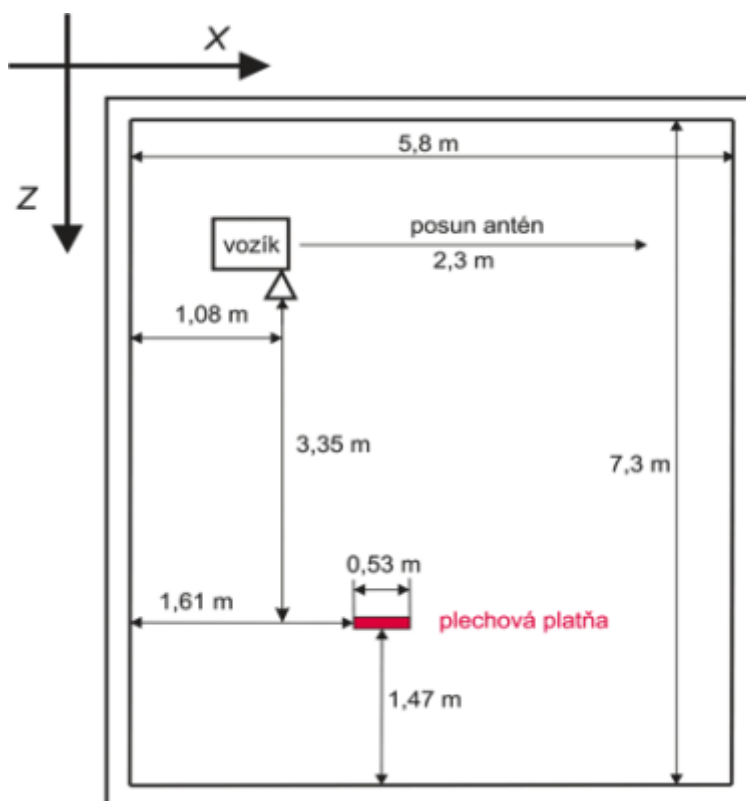
Základnými výhodami UWB radaru emitujúceho M-postupnosť sú:

- relatívne jednoduché generovanie UWB signálu posuvným registrom (šírka pásma jednotky až desiatky GHz), ktorý je ovládaný stabilným oscilátorom,
- možnosť využitia techniky podvzorkovania zaznamenávaného signálu (periodicky sa opakujúca postupnosť), a tým použitie lacných, pomalších analógovo číslicových prevodníkov (v obr. 1 - Σ /ADC/T&H).

Vysielacia aj prijímacie antény boli lievnikové antény s horizontálnou polarizáciou, umiestnené nad sebou so vzdialenosťou ich stredov 0,51 m. Vysielacia anténa bola medzi prijímacími. Na určenie pozície antén bol použitý pozičný senzor WS19KT-15000-PP24VC-SB0. Celá aparátúra sa pohybovala na vozíku rýchlosťou 0,2 m/s. Vozík sa pohyboval iba v smere osi x, to znamená, že pri výpočte spätnej projekcie sa nemenila ani súradnica z a ani vertikálna súradnica. Získané výsledky boli spracované v prostredí Matlab s využitím funkcií [5].

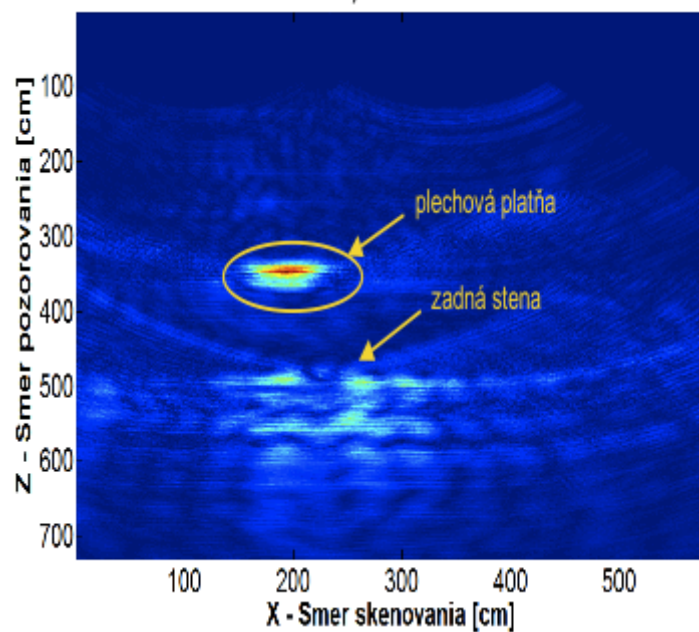
3.1. Scenár 1. Objekt lokalizovaný na priamu viditeľnosť

Na obr.3 je priestorový náčrt scény merania (pohľad zhora) s mierami rozmiestnenia objektov, pri ktorom sú antény umiestnené na vozíku a medzi anténami a plechovou platňou nie sú žiadne prekážky ani bariéry. Na obr. 4 sú vytvorené obrazy z oboch kanálov a ich kombinácie vytvorené sčítaním a vynásobením vytvorených obrazov z jednotlivých kanálov.

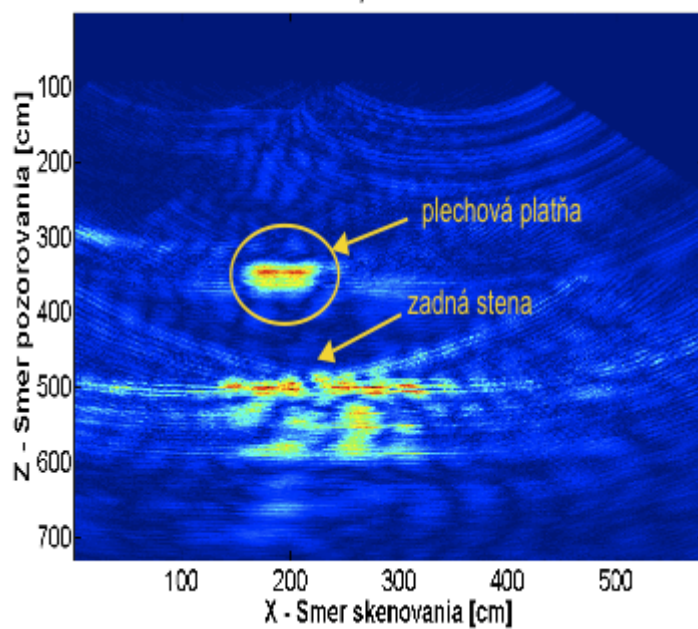


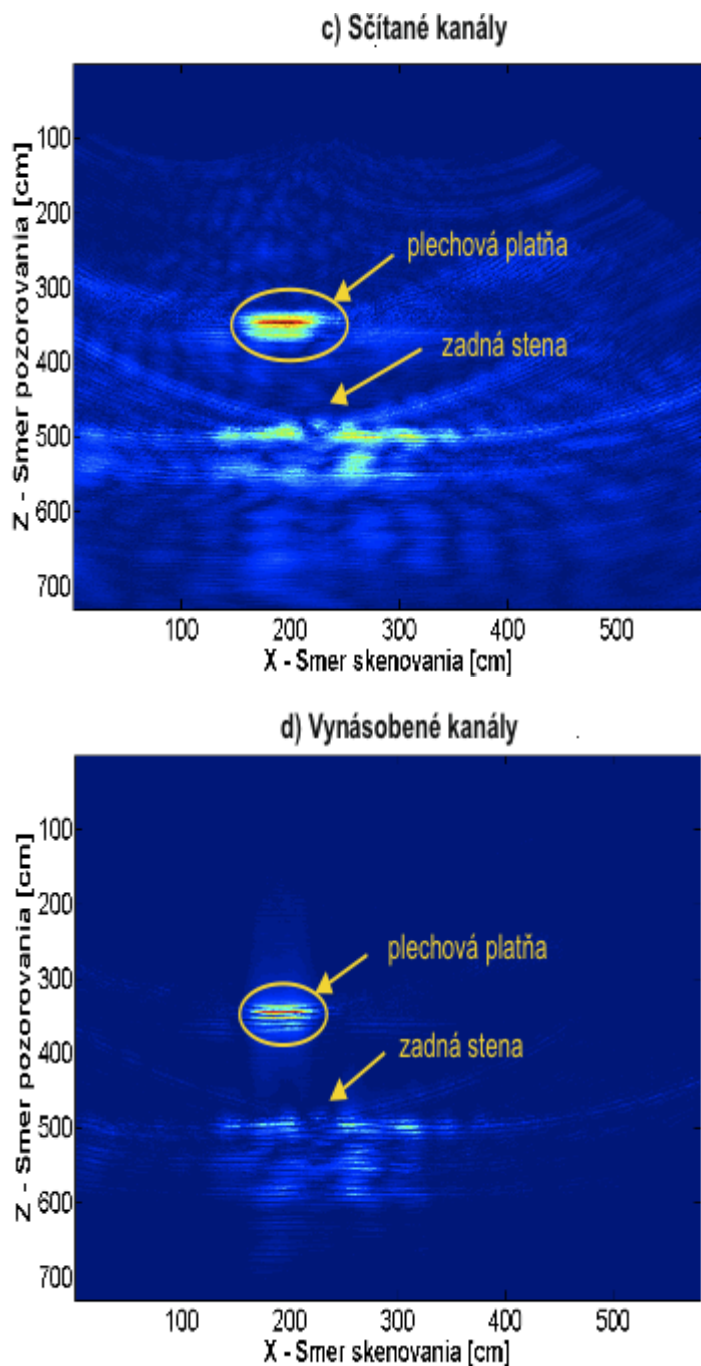
Obr.3. Priestorový náčrt scény merania s plechovou platňou (pohľad zhora) [7]

a) Kanál 1



b) Kanál 2

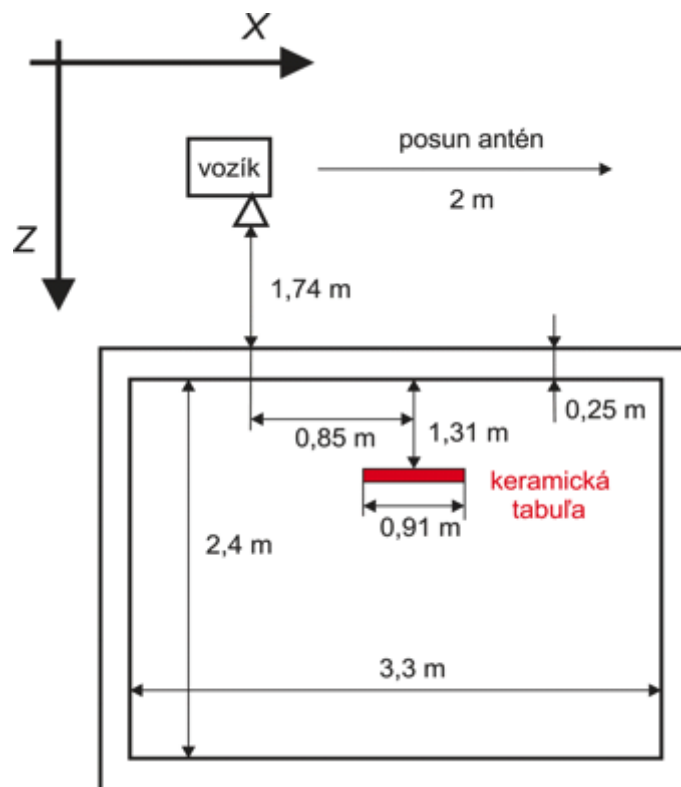




Obr. 4. Radarové obrázky plechovej platne získané difrakčnou sumáciou [7]

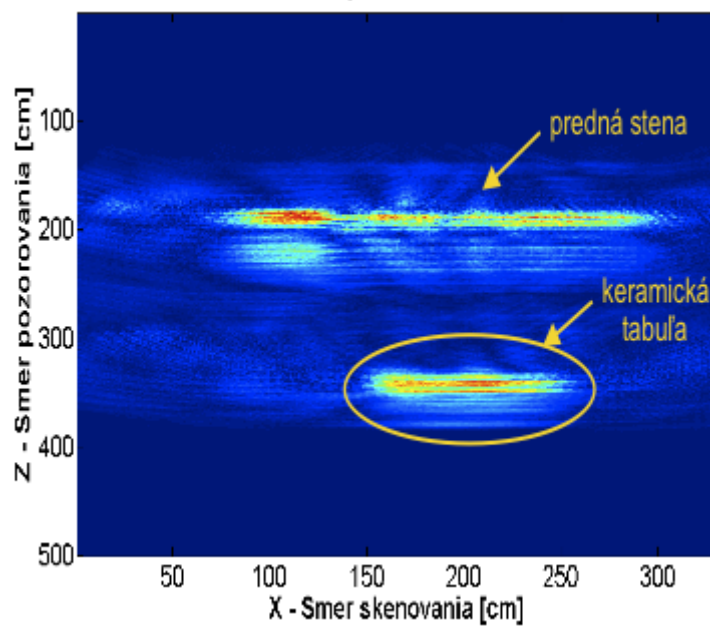
3.2. Scenár 2. Objekt lokalizovaný za stenou

Na obr.5 je priestorový náčrt scény merania (pohľad zhora), ak medzi pozorovanými objektmi a anténami bola stena. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade bola použitá horizontálna polarizácia antén. Meracia aparatúra bola umiestnená pred stenou vo vzdialenosti 1,74 m. Počas celého merania sa merací systém pohyboval popri stene, to znamená, že sa opäť menila iba súradnica x. Hrúbka steny bola 25 cm, bola vyrobená z tehál s relatívnou permitivitou približne $\epsilon_r=4$. Za stenou sa nachádzala keramická tabuľa s rozmermi 0,91 m \times 1,21 m a hrúbkou 5 cm. Na obr. 6 sú znázornené rekonštruované obrázky z oboch kanálov a ich kombinácie vytvorené sčítaním a vynásobením získaných výsledkov z jednotlivých kanálov. Treba poznamenať, že v procese rekonštrukcie obrazu sa zohľadňovala skutočnosť, že elektromagnetické vlny sa šíria dvomi prostrediami s rôznou rýchlosťou šírenia.

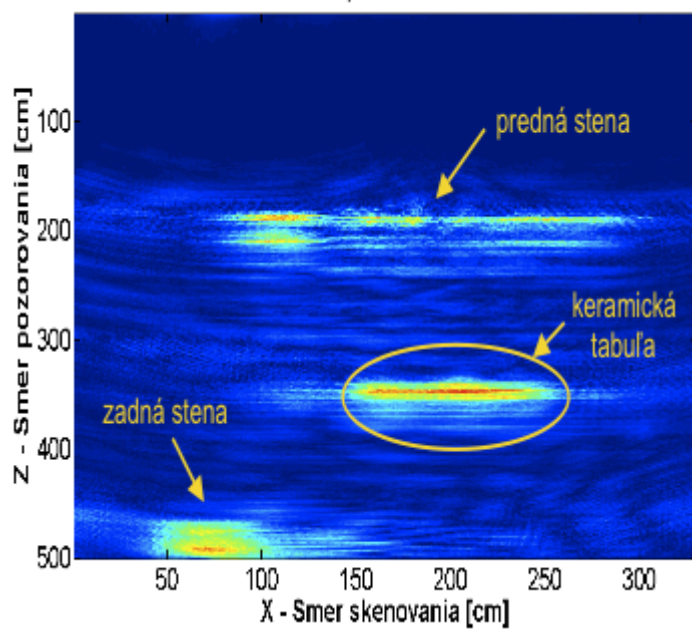


Obr.5. Priestorový náčrt scény merania s keramickou tabuľou za stenou (pohľad zhora)
[7]

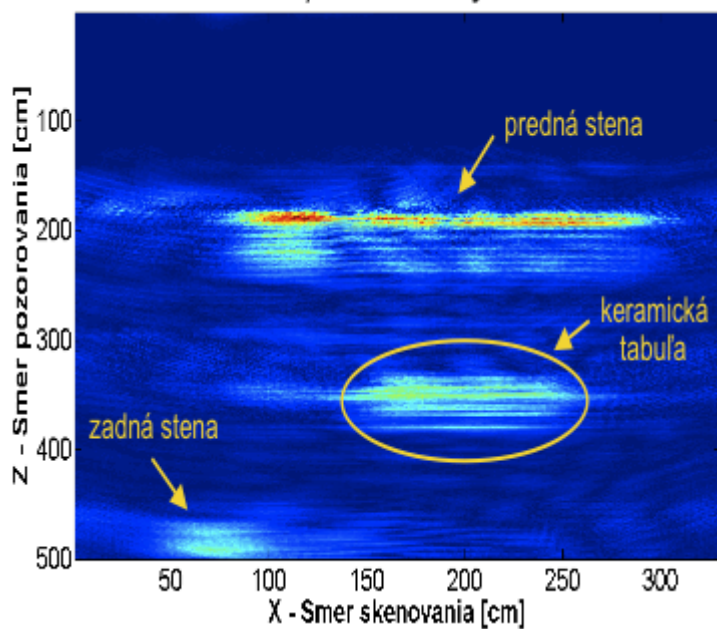
a) Kanál 1

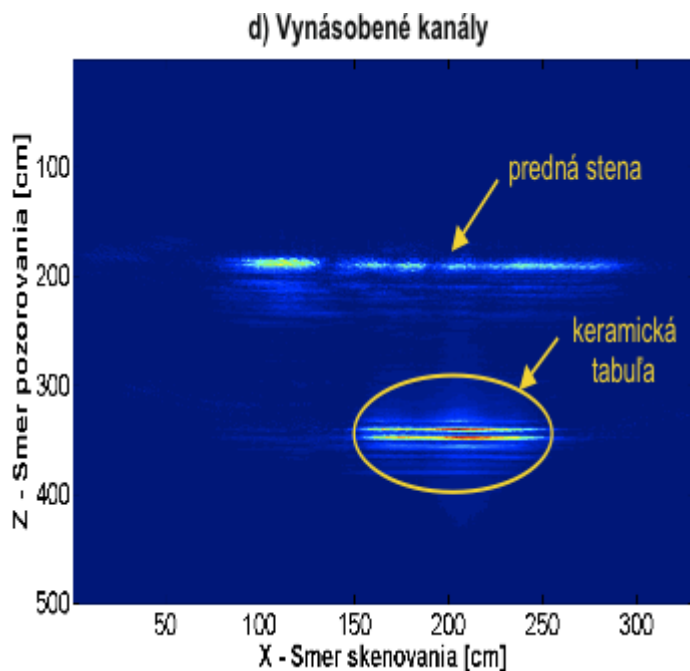


b) Kanál 2



c) Sčítané kanály





Obr. 6. Radarové obrázky keramickej tabule pri meraní cez stenu získané difrakčnou sumáciou [7]

4. Záver

Z uvedených výsledkov vyplýva, že pomerne jednoduchou metódou výpočtu, akou je difrakčná sumácia, možno získať relatívne presné výsledky o pozíciách vybraných typov objektov aj napriek tomu, že medzi radarom (resp. anténami) a pozorovaným priestorom nie je priama viditeľnosť, a to použitím veľmi nízkeho vyžarovaného výkonu. To potvrdzuje dobrú penetrovateľnosť UWB signálov s rozsahom frekvencií od 0,1 GHz do 5 GHz cez steny z klasických stavebných materiálov ako je tehla alebo betón (bez vodivých sietí alebo armatúr). Treba poznamenať, že bez zakomponovania vplyvu efektu steny do výpočtu migrácie boli objekty vo výslednom obraze posunuté približne o 0,5 m oproti ich skutočnej pozícii. Skutočné parametre steny, hlavne jej permitivita boli iba odhadnuté, a tak určitú nepresnosť možno odôvodniť aj kolísaním tohto parametra.

Voľbou rôznych pozorovaných objektov (keramická tabuľa, vodivý plech) bolo demonštrované, že identifikovateľnosť objektu je závislá od jeho reflektivity v príslušnom smere, prípadne efektívnej reflexnej plochy. Aj rozhranie kov vzduch alebo vzduch izolant s vysokou relatívnou permitivitou môžu dobre odrážať elektromagnetické vlny. Odlišnosť výsledkov kanála 1 a 2 možno vysvetliť bližšou a vzdialenejšou pozíciou prijímacích antén od podlahy, v ktorej mohli byť umiestnené kovové konštrukčné prvky. Ďalšie zlepšenie výsledkov by sa dalo očakávať zväčšením počtu prijímacích kanálov a následným výpočtom migrácie v 3D priestore (nie iba v 2D). Dodatočné kombinácie sčítaním alebo násobením výsledkov jednotlivých kanálov nedávajú výrazné zlepšenie, aj keď v niektorých prípadoch je badať potlačenie artefaktov.

Podakovania

„Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR na základe projektu č. 010TUKE-

4/2012 “. „Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a Slovenskej akadémie vied (VEGA) na základe projektu č. 1/0563/13 “.

Zoznam použitej literatúry

1. D. KOCUR et. al.: UWB bezdrôtové senzorové siete [online]. Košice: TU, FEI, 2012. ISBN 987-80-553-0918-7, Dostupné na internete: <https://moodle.tuke.sk/moodle202/course/view.php?id=70>
2. J. Sachs, M. Kmec, R. Herrmann, K. Schilling, R. Zetik, P. Rauschenbach: Ultra-Wideband Pseudo-Noise Radar: Principle of Function, State of the Art, Applications. RTO-MP-SET-120-11, NATO, 2008
3. B. Levitas, I. Naidionova, J. Matuzas: Ultra-wideband radar imaging and live being detection research in Lithuania. Vilnius: Geozondas JSC. ISBN 978-1-61284-757-3
4. M. Soumekh: Synthetic Aperture Radar Signal Processing with MATLAB Algorithms, Wiley, 1999, ISBN 9780471297062.
5. M. AFTANAS: Through wall imaging with UWB radar system: Thesis to the dissertation examination. Košice, TU FEI, 2009. 107 s.
6. X. Zhuge et al.: Comparison of Different Migration Techniques for UWB Short-Range Imaging. Delft: University of Technology Mekelweg, Proceedings of the 6th European Radar Conference, 2009. 4 s. ISBN 978-2-87487-014-9
7. R. Janič: Zobrazovanie statických objektov UWB radarovým systémom: Bakalárska práca, Košice TU FEI, 2013. 48 s.
8. J. Gazdag, P. Sguazzero: Migration of Seismic Data. Proc. of the IEEE, Vol.72, No.10, October 1984
9. R. H. Stolt: Migration by Fourier transform. Geophysics., Vol. 43, pp. 23-48, 1978

Spoluautormi článku sú Radoslav Janič, Dušan Kocur, Mária Gamcová, Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií FEI TU Košice
