

OBJECT SHAPE RECONSTRUCTION BASED ON THE MAX(T,0)-PULSE RESPONSE

Tomáš Doležal

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xdolez68@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Martin Štumpf

E-mail: stumpf@feec.vutbr.cz

Abstract: This article presents an object shape reconstruction method based on the ramp pulse response. It is demonstrated that only such three backscattered responses obtained through simulations are sufficient to achieve realistic target images. The proposed imaging algorithm is validated on the shape estimation of an EM impenetrable 3-D object.

Keywords: Kirchhoff approximation, Radar scattering, Signal processing, Object reconstruction

1 ÚVOD

Rekonstrukce tvaru objektů v obecném pojetí hraje v dnešním technologicky vyspělém světě významnou roli v mnoha vzájemně nesouvisejících oblastech lidské činnosti. Lze zmínit oblast geofyziky a její využití při nedestruktivním průzkumu zemského povrchu. Dále pak identifikaci pozemních min a další pohřbené munice. Nelze opomenout ani medicínu, kde včasná identifikace nádoru u pacienta může být životně důležitá. S rekonstrukcí tvaru objektů je často spojeno zpracování enormního množství objemových dat, což se zpravidla odráží na ceně výpočetního zařízení. V tomto článku je prezentován postup rekonstrukce objektu pomocí časových odezev na max(t,0) puls získaných simulací v CST Microwave Studio za využití techniky 3D pravděpodobnostní funkce.

2 DEFINICE PROBLÉMU A VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

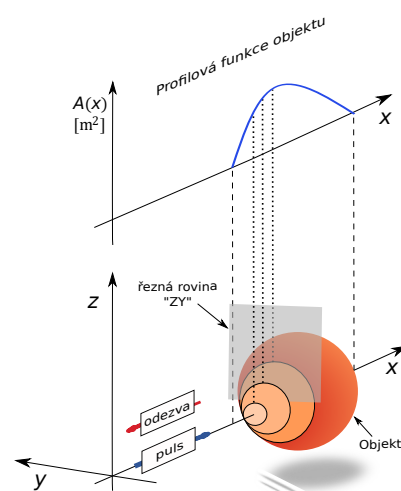
Získáním časových odezev elektrické složky objektem rozptýleného elektromagnetického pole ze tří vzájemně ortogonálních směrů na ozáření objektu rovinou lineárně polarizovanou vlnou, jejíž amplitudu definuje rovnice (1):

$$R(t|T_W^{-1}) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ t/T_W, & t \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

obdržíme vstupní data, která jsou přímo úměrná tzv. *profilové funkci*, jejíž význam je vysvětlen v navazujícím textu.

2.1 PROFILOVÁ FUNKCE

Význam této funkce je ilustrován na Obr. 1. Jde o vývoj plochy v jednotlivých řezech objektu, kolmých na daný směr ozáření. Při praktické realizaci však nelze z důvodu časového neomezení max(t,0) pulsu (1) provést jeho přímou realizaci a nelze tedy popsaným způsobem získat profilové funkce. Řešením je definice realizovatelného pulsu.



Obrázek 1: Význam profilové funkce

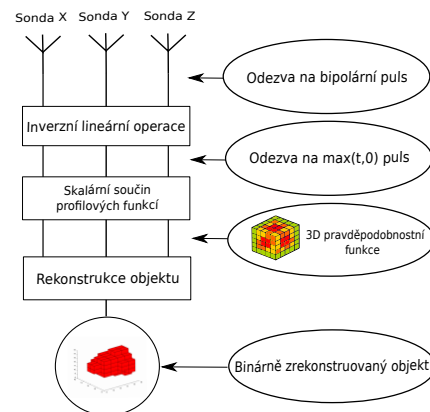
2.2 POSTUP REKONSTRUKCE OBJEKTU

Pro vytvoření realizovatelného pulsu slouží jako základní element $\max(t,0)$ puls. Aplikací lineárních operací součtu, rozdílu a posuvu v čase je možné získat bipolární trojúhelníkový puls. Aplikací inverzních lineárních operací na tyto odezvy jsou nepřímo získány profilové funkce objektu – Obr. 2.

Mezi těmito profilovými funkcemi se provede skalární součin, čímž vznikne 3D pravděpodobnostní funkce. Vztah (2) lze považovat za převodní vztah této 3D funkce na jeho výslednou rekonstrukci, která je v binární formě.

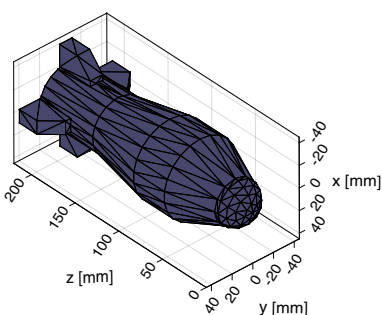
$$\sum_x \sum_y \delta x \delta y = \vec{J}_z(z) \quad (2)$$

Vztah (2) popisuje rekonstrukci ve směru z . Postupně jsou vzorkovány jednotlivé roviny xy . Tomu odpovídají vzorkovací kroky δx a δy , které určují elementární plochu, o kterou vzroste plocha dané roviny v daném iterativním cyklu. U každé roviny tedy dochází iterativně k růstu její plochy. Cyklus začíná nejvíce pravděpodobnými body 3D funkce. Tato plocha se porovnává s okamžitou hodnotou profilové funkce $\vec{J}_z(z)$. Při rovnosti ploch následuje další rovina.



Obrázek 2: Proces rekonstrukce

2.3 REKONSTRUKCE IDEÁLNĚ VODIVÉHO OBJEKTU

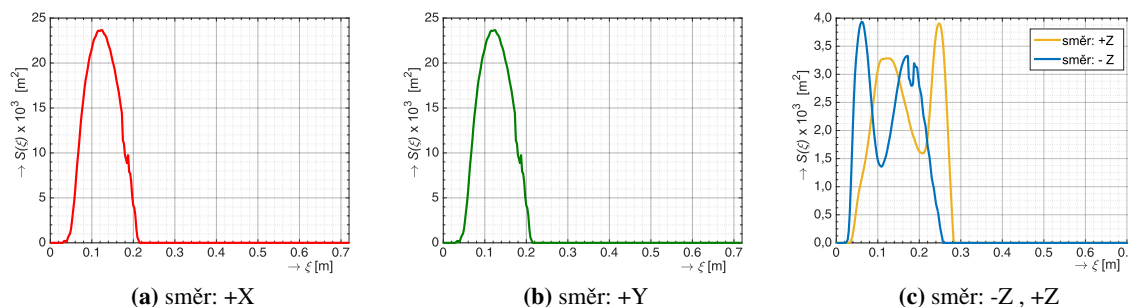


Obrázek 3: Objekt – *Bomba*

V rámci snížení výpočetní náročnosti pro rekonstrukci vodivých předmětů je využita tzv. *Kirchhoffova aproximace*. Pomocí této aproximace byl odvozen vztah (3), který popisuje souvislost mezi časově proměnnou vyzařovací charakteristikou rozptýleného pole $\vec{E}_\infty^S(-\vec{\beta}, t)$ ve zpětném směru $-\vec{\beta}$ od objektu k pozorovateli a profilovou funkcí objektu $\vec{J}(c_0 t/2)$ – Obr. 4.

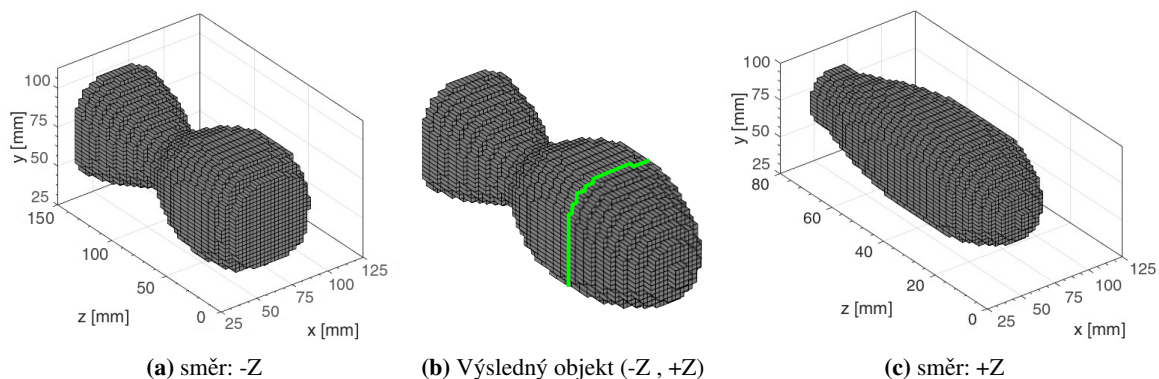
$$\vec{E}_\infty^S(-\vec{\beta}, t) \simeq -\vec{\alpha}(2/c_0) \vec{J}(c_0 t/2) \quad (3)$$

Vlevo na Obr. 3 je zobrazen zrekonstruovaný objekt. V první fázi byl objekt ozářen ve směrech $+X$, $+Y$, $-Z$. Výsledek rekonstrukce pro tuto kombinaci je na Obr. 5a, odkud je patrné, že zrekonstruována byla pouze zadní část objektu. Z tohoto důvodu byl objekt v dalším kroku ozářen ve směru $+Z$. Zde byla úspěšně zrekonstruována naopak přední část objektu. Důvodem je *Kirchhoffova aproximace*.



Obrázek 4: Výsledné profilové funkce zrekonstruovaného objektu pro 4 směry ozáření

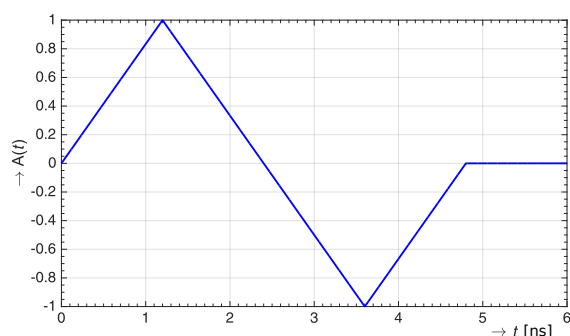
Výsledek rekonstrukce pro směr ozáření +Z ukazuje Obr. 5c. Na základě provedených simulací bylo nakonec dokázáno, že tento nežádoucí jev lze eliminovat spojením informací ze směru -Z a +Z a dosáhnout tak plnohodnotné rekonstrukce daného objektu dle Obr. 5b.



Obrázek 5: Dílčí výsledky finálně zrekonstruovaného ideálně vodivého objektu *Bomba*

Zelená linie na Obr. 5b označuje hranici spojení informací z obou těchto směrů $\pm Z$. Objekt byl tedy na první pohled plně zrekonstruován ozářením pouze ze čtyř směrů.

Ovšem díky symetrii jsou odezvy ze směrů +X, +Y totožné, a tak postačují v tomto i jiných obdobných případech pouze 3 směry ozáření. Problém je však podstata předem neznámého tvaru a tím pádem i symetričnosti objektu. V případě nesymetrie vodivého objektu jsou pro plnohodnotnou rekonstrukci při využití *Kirchhoffovy aproximace* nutné všechny čtyři odezvy.



Obrázek 6: Použitý bipolární trojúhelníkový puls

Vyslaný puls s dobou $T_W = 2,4$ ns použitý při rekonstrukci ilustruje Obr. 6. Doba trvání tohoto pulsu je tedy rovna $2T_W = 4,8$ ns. Parametrizace doby trvání T_W je významným faktorem při rekonstrukci objektů s využitím odezvy na $\max(t,0)$ puls, ovšem její popis a dopad je nad rámec tohoto textu.

3 ZÁVĚR

Využitím časových odezvy z pouze tří vzájemně ortogonálních směrů na $\max(t,0)$ puls ve spojení s použitou technikou 3D pravděpodobnostní funkce bylo dosaženo realistických odhadů tvaru objektu. Tyto výsledky demonstrují limity dané použitím *Kirchhoffovy aproximace*, které lze eliminovat spojením dílčích informací z odezvy získaných ze směrů +Z a -Z. Tímto postupem bylo dosaženo rekonstrukce celého vodivého objektu. Další výzkum v této oblasti je zaměřen především na rozlišovací schopnosti při větším množství ozařovaných objektů, ale také na zachycení jejich detailů a potlačení vlivů způsobených nežádoucími okolními objekty. Přímocará modifikace prezentovaného zobrazovacího algoritmu také umožňuje jeho aplikaci na dielektrické objekty.

REFERENCE

- [1] DOLEŽAL, Tomáš. Rekonstrukce tvaru objektu založená na odezvě $\max(t,0)$ -pulsu [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/120518>. Semestrální práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce Martin Štumpf.