

SPEED MEASUREMENT USING RADAR

Lukáš Martinů

Bachelor Degree Programme (3), FIT BUT

E-mail: xmarti55@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Lukáš Maršík

E-mail: imarsik@fit.vutbr.cz

Abstract: This article is focused on method of object's speed detection using low-cost continuous wave radar module. It describes differences between basic types of radar modules and their fundamental principles. Appropriate measuring technique including mine own approach to this problem are in more details analyzed. In the end, the implemented application is evaluated.

Keywords: continuous wave radar, doppler effect, frequency analysis, angular position measurement

1 ÚVOD

V tomto článku je popsána tvorba aplikace pro detekci objektů a její přístup k analýze dat získaných pomocí radaru. V praxi existuje několik možností radarového měření rychlosti. Tyto budou naznačeny a detailněji bude uveden algoritmus extrakce informace ze signálu radarového modulu K-MC4 [4], který byl použit pro nasbírání požadovaných dat, a na kterém byl přístup otestován. Aplikace je zaměřena především na měření rychlosti vozidel v automobilovém provozu.

2 TYPY RADARŮ

Přístupy pro zjištění rychlosti objektu se různí v závislosti na použitém vybavení. Základním rozdílem je princip použitého modulu. Mimo jiné rozlišujeme radary pulzní a radary s kontinuální vlnou.

- **Pulzní radar**

Tyto typy jsou založeny na přepínání režimu antény v závislosti na příjmu/vysílání signálu. Modul tedy vyšle signál a poté čeká na odezvu. Je vhodný především pro měření vzdálenosti [2].

- **Radar s kontinuální vlnou**

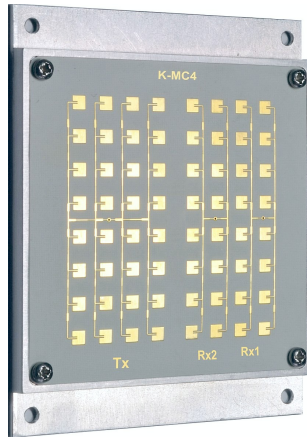
Modul většinou obsahuje alespoň dvě antény, jednu přijímací a druhou vysílací. Signál je vysílán nepřerušovaně a také nepřerušovaně je signál odražený od objektu přijímán.

Vzhledem k zaměření aplikace na real-time zpracování dat je zvolen pro měření signálu právě radar s kontinuálním vysíláním, který je jednodušší a řádově levnější než radar pulzní. Pro měření dat byl použit radarový modul K-MC4 (viz Obrázky 1, 2), který splňuje požadavky a také umožňuje měření úhlu mezi objektem a osou radaru. Modul vysílá signál o frekvenci 24.150 GHz, šíře svazku je $30^\circ/12^\circ$ a obsahuje dva páry výstupních kanálů I a Q, které umožňují použití radaru pro měření úhlu [4, 2].

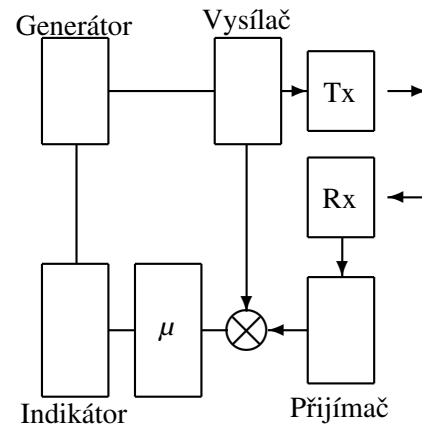
3 VYUŽITÍ DOPPLEROVA JEVU

Při analýze signálu lze pro výpočet rychlosti vycházet ze známého Dopplerova jevu.

Dopplerův jev popisuje změnu kmitočtu přijímaného signálu vůči signálu vysílanému, která je způsobena nenulovou vzájemnou rychlostí přijímače a vysílače. Matematicky lze jev popsat následovně:



Obrázek 1: Radarový modul K-MC4 se dvěma přijímacími anténami; rozměry ($78 \times 98 \times 7 \text{ mm}^3$) [4].



Obrázek 2: Blokové schéma radaru s kontinuálním vysíláním [2].

$$f = f_0 \frac{v}{v \pm v_{s,r}} \quad (1)$$

kde f_0 je vysílaná frekvence, f je přijímaný kmitočet, v popisuje rychlost šíření vln a $v_{s,r}$ relativní radiální rychlost zdroje vůči pozorovateli. Znaménko ovlivňuje směr pohybu [2]. Pro určení rychlosti pohybu objektu, je tedy nutné získat Dopplerův kmitočet [1]. Rychlost pak odpovídá:

$$v_r = \frac{f_d}{2f_t} c \quad (2)$$

kde v_r je relativní rychlost objektu, f_t vysílací kmitočet radaru a c je rychlost světla (299 792 458 m/s).

4 ANALÝZA SIGNÁLU

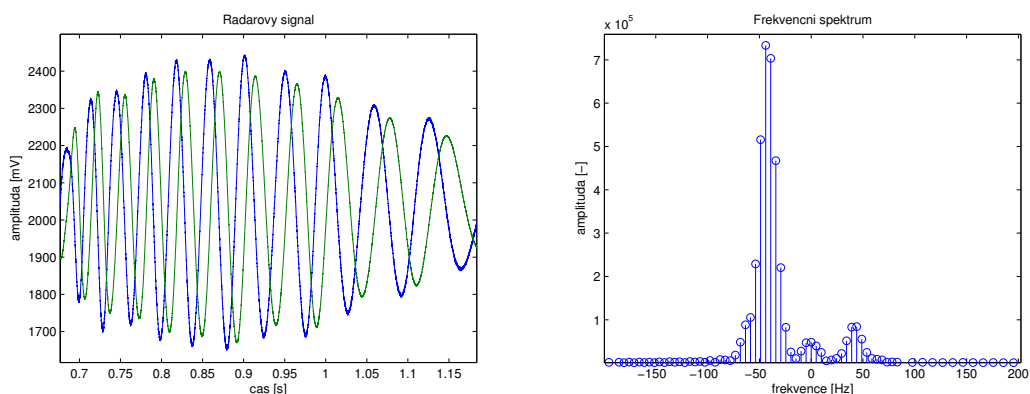
Důležitým krokem ke zjištění potřebných dat je frekvenční analýza. Je nutné signál připravit na zpracování, což zahrnuje odstranění parazitních frekvencí, dále určení časového kvanta, které bude zkoumáno. Velikost musí být zvolena tak, aby následně použité algoritmy byly schopny zachytit frekvence jež ovlivňují námi přijímaný signál. Ten musí splňovat vzorkovací teorém ($f_{vzork} > 2 \times f_{max}$).

Je dobré aplikovat na připravený úsek signálu tzv. okenní funkci [3] za účelem zvýraznění vrcholů ve frekvenčním spektru a minimalizaci vlivu nenavazujících hraničních vzorků, které mají za následek spektrální rozptyl po provedení DFT (Diskrétní Fourierovy Transformace). Pro zvýšení rozlišení frekvenční osy lze provést techniku zero-padding, která provede vyhlazení spektra po provedení DFT [3].

Jádrem je provedení fourierovy transformace. Jednou z metod je FFT (Fast Fourier Transform), což je co do zpracování rychlejší metoda než obyčejná FT. Produkuje komplexní frekvenční spektrum (viz Obrázek 3) v němž vznikne v ideálním případě jediný vrchol (výkonově nejsilnější složka $\rightarrow f_d$) [1].

5 ÚHLOVÉ MĚŘENÍ A KOREKCE

Úhel mezi směrem pohybu objektu a osou radaru může způsobovat nepřesnosti při měření rychlosti objektu. Tuto nepřesnost způsobuje faktor kosinového úhlu a ukazuje ji část tabulky 1. Z toho vychází vzorec pro výpočet rychlosti vozidla $v_{zmerena} = v_{realna} \times \cos \alpha$, kde $\cos \alpha$ způsobuje chybu měření. Tu lze však ošetřit pomocí zjištění tohoto úhlu a korekce jeho kosinového faktoru. Radarový modul K-MC4 je schopen určit námi hledaný úhel pomocí porovnání fází signálu z obou antén [4]:



Obrázek 3: Příklad komplexního radarového signálu a jeho frekvenčního spektra zobrazujícího různé hodnoty frekvenčních binů; Frekvenční vrchol je na $f = -50$ Hz $\rightarrow v = 1.12$ km/hod.

$$\alpha = \frac{\Phi}{k} \quad (3)$$

kde α je úhel ve stupních, Φ je posuv mezi kanálem I1 a I2 a konstanta $k = 6.7$ [4].

6 VYHODNOCENÍ RYCHLOSTI CÍLE A DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Z frekvenční analýzy známe Dopplerovu frekvenci f_d využitelnou při výpočtu rychlosti cíle viz vztah 2. Ovšem pro úplné zjištění rychlosti je nutné zjistit směr pohybu cíle (z důvodu, že výstupní frekvence nemohou být záporné). Směr lze zjistit v závislosti na fázovém posuvu kanálů I a Q, tedy smyslu otáčení komplexního výstupního signálu, který určíme přímo z frekvenčního spektra [1].

Počet vzorků signálu (+zero-padding)	512 (+512)	512 (+1536)	1024 (+1024)	1024 (+3072)
Chyba získané rychlosti [km/hod]	0.436	0.218	0.218	0.109
Úhel [°]	0	30	45	90
Chyba získané rychlosti [%]	0	13.4	29.3	100

Tabulka 1: Závislost chyby měření na počtu vzorků a úhlu; Data vzorkována frekvencí 20000 Hz, což značně ovlivňuje přesnost a také rozsah získaných frekvencí a tedy i rychlosti.

7 ZÁVĚR

Aplikace byla otestována na sadě vzorků, které zahrnovali různé rychlosti a směry pozorovaných objektů. V tabulce 1 je ukázána míra dosažené chyby na testovacích vzorcích. Ta by neměla mít velký vliv v automobilovém provozu, do které je v plánu systém nasadit a ověřit jeho stabilitu.

REFERENCE

- [1] Maršík, L.: *Accelerated and Embedded Radar Signal Processing Algorithms*. Thesis statement, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology, 2012-1-20.
- [2] Skolnik, M.I.: *Introduction to Radar Systems*. McGraw-Hill, 3 edition, Dec. 2002.
- [3] Mahafza, B.R.: *Radar Signal Analysis and Processing Using MATLAB*. CRC Press, Jun. 2008.
- [4] RFbeam Microwave GmbH. *K-MC4 Monopulse Radar Transceiver*. July 2011, 11 s.