

RANGE MEASUREMENT USING RADAR

Tomáš Sekera

Bachelor Degree Programme (4), FIT BUT

E-mail: xseker02@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Lukáš Maršík

E-mail: imarsik@fit.vutbr.cz

Abstract: This article is focused on the radar signal processing methods suitable for range measurement. Further discussed methods can be implemented using Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) radar. With a suitably chosen frequency modulation it is possible to measure speed and range of moving or stationary objects at the same time. In the end, the implemented application is evaluated.

Keywords: radar, range measurement, frequency modulation, Doppler effect, triangle modulation

1 ÚVOD

Radar je elektronické zařízení, které slouží k měření vzdálenosti nebo rychlosti detekovaných objektů. V této práci je použit radar nepřetržitě vysílající spojité vlny elektromagnetické energie (continuous wave) a zároveň schopný frekvenční modulace. Takové zařízení se zkráceně nazývá FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) radar. V tomto článku bude uveden postup, jak je potřeba signál z radaru předzpracovat a také je popsána volba vhodné metody, která umožňuje měřit vzdálenost i rychlost pozorovaného objektu zároveň.

2 SOUČASNÝ STAV

Radar vysílá elektromagnetické vlny dané frekvence, které se šíří rychlostí světla. Mezi základní typy patří i pulsní radar, který vyšle krátký puls a čeká na jeho odpověď. Kdežto v případě CW radaru se jedná o nepřetržitě vysílání signálu a jeho příjmu. U radarů obecně se využívá takzvaného Dopplerova jevu a to zejména v případě, kdy chceme měřit rychlost objektu. Tento problém je nezbytné zmínit, jelikož pokud je potřeba měřit vzdálenost objektu v pohybu, tak se musí brát v potaz, že zde velmi pravděpodobně dojde k Dopplerově posunu a tím se změní frekvence přijímaného signálu [2].

2.1 DOPPLERŮV JEV

V případě tohoto jevu se jedná o změnu frekvence přijímaného signálu oproti vyslanému, způsobenou vzájemným pohybem vysílače a přijímače [3]. Jinými slovy ke změně frekvence dojde pouze pokud je pozorovaný objekt vůči radaru v pohybu. V případě kdy se objekt v přijímači přibližuje, frekvence se zvyšuje, naopak při oddalování se snižuje. Zařízení, které využívá tento princip se nazývá Dopplerův radar a změření relativní rychlosti detekovaného objektu k radaru se vyjádří následující rovnicí:

$$v_r = \frac{f_d}{2f_i} c \quad (1)$$

Zde f_d je Dopplerova frekvence, f_i je frekvence vysílaná radarem a c je rychlost světla. Tady ovšem nastává problém jak určit vzdálenost objektu, nebo ho alespoň detekovat v případě, kdy se vůči radaru nepohybuje. V této situaci objekt nevytváří žádnou změnu frekvence a tím pádem bude přijat signál se stejnou frekvencí v které byl vyslán. V takové situaci lze s výhodou využít frekvenční modulace.

2.2 FREKVENČNÍ MODULACE

Frekvenční modulace spočívá ve změně vysílané frekvence signálu, které lze dosáhnout změnou napětí na oscilátoru, který je součástí radaru [2]. Umožňuje tedy vytvářet modulační průběhy vhodné pro metody měření vzdálenosti. Je důležité, ať už je frekvence snižována či zvyšována, aby tento přechod byl co nejvíce lineární, jinak se ve výsledné odpovídající frekvenci objevují odchylky.

3 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

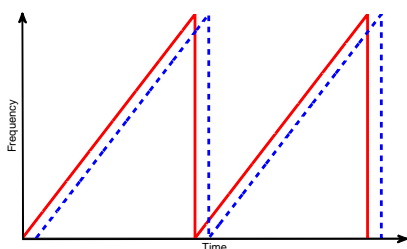
Radar produkuje signál v analogové formě. Je tedy nezbytné signál po přijetí převést z analogové formy do digitální za pomoci analogově digitálního převodníku, abychom s ním mohli dále pracovat. Výstup z radaru je komplexní signál, tedy odpovídající špička ve spektru bude pouze v kladné nebo záporné části. Naopak u reálného signálu by se špička nacházela v obou částech. Data jsou poté rozdělena na segmenty vhodné délky, v případě zvolené modulace na jednu její periodu či její část. Z každého segmentu je odstraněna stejnosměrná složka vzniklá při převodu z analogové podoby. Na každý segment se aplikuje Hammingova okenní funkce, aby byl vybraný úsek signálu zdánlivě periodický a tedy následně vhodný pro zpracování rychlou fourierovou transformací. Aby byly špičky ve spektru přesněji umístěné, je dobré použít metodu zvanou zero padding, kdy na konec segmentu přidáme nuly a tím bude spektrum lépe vyhlazené [1]. Nyní lze aplikovat rychlou fourierovu transformaci (FFT), kde je signál převeden z časové domény do frekvenční a tím se získá frekvenční spektrum použitelné pro následující metody.

4 METODY PRO MĚŘENÍ

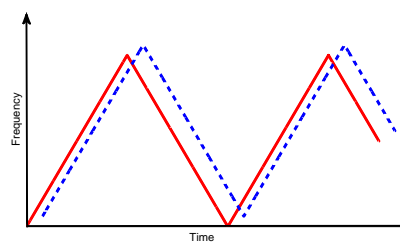
Pro měření vzdálenosti je využito lineární frekvenční modulace, kdy je vysílaný signál průběžně modulován. Frekvence je buď snižována nebo zvyšována. Tento způsob zanechá časovou značku v signálu a v závislosti na vzdálenosti se bude vysílaná frekvence od přijaté lišit. Díky tomu lze určit časový rozdíl mezi vysláním a přijetím signálu. Pomocí něj se může vypočítat přesná vzdálenost na základě znalostí rychlosti šíření vln (rychlostí světla). Hledaná frekvence označovaná jako beat frekvence je rozdílem frekvence vyslaného a přijatého signálu. V následující části jsou popsány základní typy modulací a také co jejich použití přináší.

4.1 SAWTOOTH MODULACE

Jedná se o nejjednodušší typ lineární modulace. Vysílací frekvence je buď lineárně zmenšována (down-chirp) nebo zvětšována (up-chirp) v definovaném intervalu, jak lze vidět na Obrázku 1. Nevýhodou této metody je, že nelze jednoduše měřit pohybující se objekty, protože od sebe není možno oddělit frekvenci odpovídající vzdálenosti a frekvenci Dopplerovu. V situaci kdy se objekt pohybuje, tak vlivem Dopplerova jevu dojde ke zkrácení užitečné informace obsažené v signálu a to v podobě zdánlivého zkrácení nebo prodloužení detekované vzdálenosti.



Obrázek 1: Sawtooth modulace, červený signál je vysílaný a modrý přijímaný.



Obrázek 2: Trojúhelníková modulace, červený signál je vysílaný a modrý přijímaný.

4.2 TROJÚHELNÍKOVÁ MODULACE

Modifikací předchozí metody lze dosáhnout měření rychlosti i vzdálenosti zároveň. Modulační průběh sestává z periodicky se opakující kombinace lineárního zvyšování (up-chirp) a snižování (down-chirp) frekvence. Frekvence pro určení vzdálenosti, tedy beat frekvence, je pro up-chirp část negativní a down-chirp pozitivní, ovšem jejich absolutní hodnoty jsou stejné. Pokud se liší, znamená to že objekt je v pohybu, protože frekvence byly pozměněny Dopplerovým jevem, který vždy způsobí buď zvýšení nebo snížení beat frekvence naráz.

Na Obrázku 2 lze vidět signál přibližujícího se objektu, kdy přijímaný signál tedy modrý má vyšší frekvenci vlivem Dopplerova posunu. Beat frekvenci označovanou jako f_{b+} (tedy se stoupající frekvencí) lze vyjádřit jako rozdíl mezi frekvencí vzdálenosti a Dopplerovým posunem. Na druhou stranu podobně při klesající části f_{b-} je beat frekvence jejich součtem [2]. Frekvence odpovídající vzdálenosti může být potom získána jako průměrná beat frekvence, jak je možné vidět na vzorcí (2) a Dopplerova frekvence se určí pomocí vzorce (3).

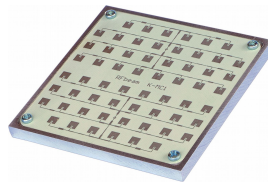
$$f_r = \frac{f_{b+} + f_{b-}}{2} \quad (2)$$

$$f_d = \frac{f_{b-} - f_{b+}}{2} \quad (3)$$

Po získání správných frekvencí lze vypočítat vzdálenost za pomoci vzorce (4) a rychlost lze určit z již zmiňovaného vztahu (1).

$$R = \frac{t_m c}{4\Delta f} f_r \quad (4)$$

Zde c je rychlost světla, Δf vyjadřuje modulační hloubku, t_m periodu modulace a f_r frekvence pro odpovídající vzdálenost.



Obrázek 3: K-MC1 modul (převzato z [4])

5 ZÁVĚR

Jako vhodná metoda se tedy ukázala varianta trojúhelníkové modulace, která umožňuje efektivně měřit vzdálenost i rychlost zároveň. Pro získání dat byl použit K-MC1 modul (Obrázek 3), jehož výstup ze dvou kanálů je komplexní. V mé práci jsem ověřil, že zvolená metoda zpracování podává výsledky s přesností cca 10cm. Aplikaci je možno do budoucna rozšířit i o jiné varianty modulací, které jsou například efektivnější v případě měření více objektů zároveň.

REFERENCE

- [1] Lyons, Richard G. : Understanding Digital Signal Processing, Bernard Goodwin, 2004, ISBN 0-13-108989-7
- [2] Maršík, L.: Accelerated and Embedded Radar Signal Processing Algorithms, FIT Brno University of Technology, 2012, Ph.D. Thesis Statement
- [3] Skolnik, Merrill I. : Radar Handbook, The McGraw-Hill, 2008, ISBN 978-0-07-148547-0
- [4] RFbeam GmbH, St. Gallen, K-MC1 Monopulse Radar Transceiver, 2011