

HUMAN DETECTION USING RADAR

Jan Skácel

Bachelor Degree Programme (4), FIT BUT

E-mail: xskace04@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Lukáš Maršík

E-mail: imarsik@fit.vutbr.cz

Abstract: This paper focuses on algorithm to make a real time detection of a humans based on their walking motion by using continuous wave radar. The biggest advantage of this approach for the detections of human is very low cost and great potential applications in various fields.

Keywords: continuous wave radar, human detection, gait recognition

1 ÚVOD

Detekcí osob se zabývá mnoho oborů na základě různých přístupů k této problematice (kamery, lasery, biometrické vlastnosti, radary, apod.). Tento článek popisuje algoritmus pro detekci osob v reálném čase na základě lidské chůze pomocí radaru s kontinuální vlnou. Použitý algoritmus je inspirován již dříve implementovanou metodou [1]. Největší výhodou tohoto přístupu k detekci osob je velmi nízká pořizovací cena a široké možnosti využití v různých oblastech, například buď jako samostatný detektor, nebo jako doplňkový zdroj informací pro video-based systémy.

2 RADAR

Radar je elektronický přístroj určený k detekci, měření rychlosti a určení vzdálenosti objektů pomocí velmi krátkých elektromagnetických vln [3]. Existují dva základní typy radaru, pulzní radar a radar s kontinuální vlnou (CW radar). Pulzní radar má jedinou anténu, která se střídavě připojuje k vysílači a k přijímači. Nejprve se z ní vyšle krátký elektromagnetický impulz a po přepnutí se přijímá signál odražený. Zatímco CW radar vysílá nepřerušovaný svazek elektromagnetických vln s konstantní frekvencí [3].

Fyzikální princip fungování radaru je založen na Dopplerově efektu, který se dá popsat jako změna frekvence periodického děje při vzájemném pohybu zdroje a cíle. Frekvence se dá poté přepočíst na rychlost pomocí rovnice

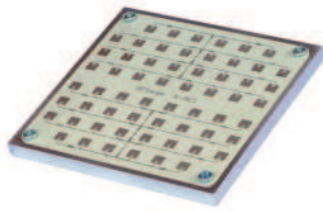
$$v_0 = \frac{f_d}{2f_i} c_0, \quad (1)$$

kde v_0 je rychlost objektu (vzhledem k radaru) v m/s , f_i vysílací frekvence radaru v Hz , f_d frekvence dopplerova binu a $c_0 = 299\,792\,458\,m/s$ je rychlost světla ve vakuu [4].

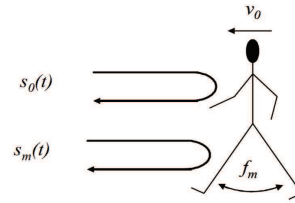
Pro realizaci této práce je používán monostatický CW radarový modul RFbeam K-MC1 Obrázek 1. Pro současné vysílání a přijímání signálu se používají dvě oddělené antény, které jsou umístěny skoro ve stejné pozici a vyrobené identicky, takže mají téměř stejné charakteristiky. Modul je velký $6,5\,cm \times 6,5\,cm \times 6\,mm$. Vysílá elektromagnetické vlny o frekvenci $24\,GHz$ v horizontální rovině v rozmezí 12° a ve vertikální rovině v rozmezí 25° . Přijímaný signál je digitalizován.

3 LIDSKÁ CHŮZE

Když signál z CW radaru dopadá na člověka pohybujícího se k nebo od radaru, vlnění odražená od různých částí těla budou vykazovat tzv. Dopplerův posun, který je úměrný rychlosti těchto částí [1].



Obrázek 1: RFbeam K-MC1 [2].

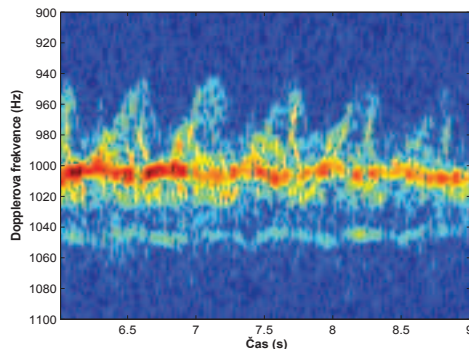


Obrázek 2: Klíčové komponenty chůze [1].

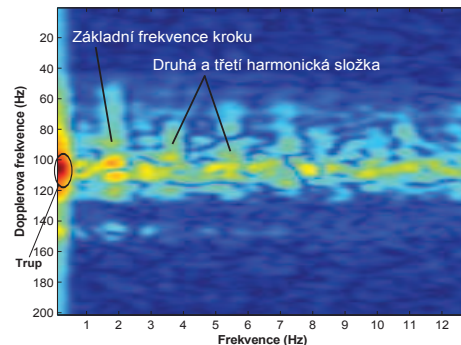
Primární komponenty odraženého signálu jsou od trupu, noh a rukou Obrázek 2. Od osoby pohybující se konstantní rychlostí v_0 , je signál odražený od trupu označován jako $s_0(t)$, a má konstantní Dopplerův posun. Části signálu odražené od pohybujících se rukou a nohou, $s_m(t)$, budou modulovány s frekvencí f_m , která reprezentuje frekvenci kroků. V zásadě pohyb rukou a nohou má stejnou periodu, poněvadž kývající se ruce se snaží vyvážit pohyb nohou.

4 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

Radarový signál byl (stejně jako v případě [1]) nejdříve zpracován pomocí rychlé fourierovy transformace (FFT), čímž byly získány frekvence jednotlivých komponent lidského těla. Výsledkem je spektrogram, který ukazuje typické Dopplerovské znaky lidské chůze Obrázek 3. Níže uvedené grafy jsou získané z úspěšného provedení FFT na krátkých časových úsecích tzv. oknech. Dopplerova frekvence je zobrazena na vertikální ose a čas na horizontální ose. Výkon frekvenčních komponent obsažených v signálu je znázorněna barvami, červená ukazuje největší intenzitu a modrá nejmenší.



Obrázek 3: Spektrogram lidské chůze.



Obrázek 4: Spektrální analýza Obrázku 3.

4.1 EXTRAKCE CHARAKTERISTICKÝCH RYSŮ PRO DETEKCI OSOB

Jelikož pohyb nohou a rukou pohybující se osoby je periodický, lze opět použít FFT k extrahování základních informací, jako je frekvence kroků ze spektra zobrazeného na Obrázku 3. Pro každý Dopplerův bin na vertikální ose byla provedena FFT přes celé časové okno. Délka časového okna je zvolena tak, aby okno pokrylo dostatečný počet opakování pohybů na získání frekvencí jednotlivých komponent typického pohybujícího se člověka (alespoň 3 kroky). Výsledkem je 2D prostor, který lze zobrazit podobně jako spektrogram, na vertikální ose je opět frekvence, horizontální osa se transformuje z časové domény do frekvenční a tudíž vyjadřuje četnost opakování dané Dopplerovy frekvence. To si lze prohlédnout na Obrázku 4.

Tento obrázek umožňuje jedinečný pohled na třídimenzionální spektrální dekompozici lidské chůze. Frekvence a harmonické složky jednotlivých pohybujících se částí těla jsou zobrazeny na horizontální ose, jejich rychlosti na vertikální ose, a jejich RCS (radar cross section – efektivní odrazová plocha) na ose intenzit neboli na ose z. Jelikož se trup pohybuje téměř konstantní rychlostí, tedy s malou nebo žádnou modulací, leží maximum v transformovaném spektrogramu blízko nuly na frekvenční ose.

Z této spektrální analýzy se nejprve zjistí četnost opakování pohybů nohou, neboli základní frekvence f_m . V našem konkrétním příkladě z Obrázku 4 je základní frekvence 1.9 Hz. Podílem rychlosti, která se spočítá pomocí rovnice 1, a frekvence kroků získáme délku kroku [1]

$$stride = \frac{v_0}{f_m}, \quad (2)$$

kteřá slouží jako první charakteristický rys pro detekci osob.

Jako druhý charakteristický rys byl vybrán poměr RCS pohybujících se končetin (ruce a nohy) k trupu. Předpokládá se, že tento rys by měl pomoci rozpoznat lidi od zvířat, neboť poměr velikostí končetin k velikosti trupu u lidí by měl být jiný než u zvířat. RCS končetin je vyjádřeno jako suma amplitud základního kroku a druhé a třetí harmonické složky, které doprovázejí periodický pohyb rukou a nohou. RCS končetin se poté vydělí amplitudou vrcholu trupu. Tento rys nazveme poměr odrazů končetin k trupu [1]

$$appendage/torso = \frac{\sum_{n=1}^3 RCS_n}{RCS_0}, \quad (3)$$

kde RCS_n je amplituda n-tého vrcholu: $n = 0$ je trup, a $n = 1, 2, a 3$ je základní, druhá a třetí harmonická složka.

4.2 VYHODNOCENÍ CHARAKTERISTICKÝCH RYSŮ PRO DETEKCI OSOB

Ke klasifikaci osob se používá jednoduchý binární klasifikátor, který vyhodnocuje pouze jestli jdoucí osoba je přítomna před radarem nebo není. Délka kroku a rychlost osoby jsou ve vzájemném vztahu, neboť čím rychleji člověk jde či běží tím bude jeho krok delší. Proto se zvolil pro vyhodnocení jednoduchý lineární model závislosti délky kroku na rychlosti chůze popř. běhu. Jako minimální hranice klasifikátoru člověka je zvolena rychlost 0,2 m/s s délkou kroku 0,2 až 1,3 metru a jako maximální hranice je zvolena rychlost 5 m/s s délkou kroku 1,4 až 2,5 metru (algoritmus umí detekovat i běžícího člověka). Hodnota poměru RCS končetin k trupu musí být v rozmezí 0,4 až 0,6. Pokud jsou obě podmínky splněny, nachází se před radarem pohybující se člověk.

Test	Rychlost [m/s]	Délka kroku [m]	Poměr RCS
Muž 1 k radaru	1,4571	0,7468	0,5205
Muž 2 od radaru	1,3988	0,7445	0,5059
Žena 1 k radaru	1,6319	0,7285	0,4879
Žena 2 od radaru	1,4571	0,6953	0,4776

Tabulka 1: Vybrané výsledky detekce osob

5 ZÁVĚR

V článku byla představena metoda vhodná pro detekci osob pomocí radaru s kontinuální vlnou. S použitím FFT byly zjištěny dva hlavní charakteristické rysy pro detekci osob a to délka kroku a poměr odrazů končetin k trupu. Prozatím byla aplikace testována na 4 osobách (dva muži a dvě ženy), které šli k radaru i od radaru, a na pohybujícím se radaru bez člověka, tedy dohromady 9 vzorků. V 8 případech algoritmus detekoval správně, v jednom případě člověka nezachytil. Přestože je algoritmus robustní, za určitých okolností může dojít ke ztrátě detekce z důvodu potlačení charakteristických rysů osoby šumem. Vybrané výsledky detekce osob jsou zobrazeny v Tabulce 1.

REFERENCE

- [1] Otero, M. *Application of a continuous wave radar for human gait recognition*. Society of Photo Optical. Orlando, USA. Mar. 2005.
- [2] RFbeam GmbH, St. Gallen, CH. *K-MC1 Monopulse Radar Transceiver*, Jul. 2011.
- [3] Skolnik, M. I. *Introduction to Radar Systems*. McGraw-Hill. Dec. 2002. 3 edition
- [4] Maršík, L. *Accelerated and Embedded Radar Signal Processing Algorithms*. Brno, Jan. 2012.