

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

MĚŘENÍ RYCHLOSTI ZÁVODNÍCH VOZŮ S POUŽITÍM RADARU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

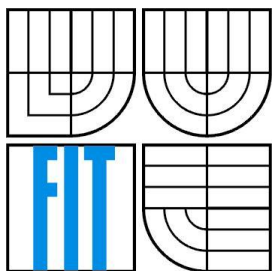
AUTHOR

ZDEŇKA KROUPOVÁ

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

MĚŘENÍ RYCHLOSTI ZÁVODNÍCH VOZŮ S POUŽITÍM RADARU

SPEED MEASURING OF RACING CARS USING RADAR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ZDEŇKA KROUPOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ MARŠÍK

BRNO 2015

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá měřením rychlosti pomocí radaru. Měření je cíleno na závodní vozy, které jsou zaznamenávány jako pohybující se objekty staticky umístěným radarem s kontinuální vlnou.

Abstract

This bachelor thesis discusses speed measuring using radar. Measuring is focused on racing cars, static continuous-wave radar see these cars as moving objects.

Klíčová slova

měření rychlosti, radar, Dopplerův jev, zpracování signálu, závodní vůz

Keywords

speed measuring, radar, Doppler effect, signal processing, racing car

Citace

Kroupová Zdeňka: Měření rychlosti závodních vozů s použitím radaru, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2015

Měření rychlosti závodních vozů s použitím radaru

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Lukáše Maršíka. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

.....
Zdeňka Kroupová
19. 5. 2015

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Lukáši Maršíkovi za odbornou pomoc, rady a poskytnutí vybavení, díky kterému bylo možné získat data.

© Zdeňka Kroupová, 2015

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod.....	2
2	Radary.....	3
2.1	Typy radarů.....	3
2.2	Dopplerův jev.....	3
3	Závodní vozy.....	4
4	Zvolení radaru s ohledem na aplikaci.....	6
4.1	Umístění radaru.....	7
5	Zpracování signálu.....	10
5.1	Segmentace.....	10
5.2	Stejnoseměrná složka.....	10
5.3	Fourierova transformace.....	10
5.4	Rychlost.....	10
6	Závěr.....	12

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá měřením rychlosti pomocí radaru se zaměřením na závodní vozy. Přestože již existují funkční řešení, je dobré si vyzkoušet své řešení, případně si některé z dostupných přizpůsobit pro vlastní použití.

Členové závodních týmů mají přístup k datům přímo z aut, ale ne všechna auta tato data zaznamenávají. A co když nás zajímají informace o konkurenci? V takových případech je třeba přistoupit k externím měřením a zrovna rychlost patří k informacím, které není tak složité získat.

Měření rychlosti aut radarem je v této době každodenní záležitostí, na silnicích se setkáváme s informačními radary, které ukazují aktuální rychlost, většinou v obcích. Také policejní kontroly maximální povolené rychlosti probíhají pomocí radarů.

2 Radary

Radiolokátor neboli radar, zkratkové slovo za Radio Detecting and Ranging, je zařízení, jímž lze pomocí odrazu elektromagnetických vln zjistit vzdálenost, výšku, rychlost, pohyb objektů a další údaje o zaměřeném cíli [4].

2.1 Typy radarů

Radary lze dělit z mnoha hledisek. Mohou být pasivní a přijímat pouze signály z okolí nebo mohou být aktivní a přijímat vlastní odražené signály, z tohoto pohledu můžeme ještě radary dělit následovně:

- pulsní radar – vysílá krátký signál a čeká na odezvu, pro vysílání a přijímání stačí jedna anténa, vhodný i pro velké vzdálenosti,
- radar s kontinuální vlnou – vysílá i přijímá nepřetržitě, má oddělený vysílač a přijímač, určený pro vzdálenosti v desítkách metrů.

2.2 Dopplerův jev

K měření rychlosti se využívá přítomnost Dopplerova jevu. Vyslaný signál se po odrazu od pohybujícího se objektu vrací se změněnou frekvencí. Pokud je frekvence zvýšená, objekt se pohybuje směrem k radaru, v případě snížené frekvence se objekt vzdaluje.

Pro radiální rychlost platí:

$$f_D = \frac{2v}{\lambda}, \quad (1)$$

kde f_D je Dopplerův posun [Hz], v rychlost objektu [m/s] a λ vlnová délka [m].

Nepohybuje-li se objekt přímo proti radaru, musíme použít vztah (2), kde je zohledněn úhel.

$$f_D = \frac{2v}{\lambda} \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

f_D je Dopplerův posun [Hz], v rychlost objektu [m/s], λ vlnová délka [m] a α je úhel mezi osou radaru a objektem [°].

3 Závodní vozy

Závodními vozy rozumíme vozy/auta, která jsou určena k soutěžení na uzavřené dráze nebo trase. Existují různé soutěže, přičemž je každá ze soutěží určena pro specifickou skupinu vozů, tím nám vzniká široké spektrum aut, jejichž rychlosti závisí na disciplíně, pro kterou jsou vyrobena.

Monoposty formule 1 dosahují rychlostí až přes 300 km/h, proti nim jsou studentské formule, jejichž maximální rychlosti se dají přirovnat k rychlostem aut na českých dálnicích, relativně pomalé.

Příklady vozů jsou na obrázcích 3.1 – 3.4.



Obrázek 3.1: Auto určené pro rally.



Obrázek 3.2: Formule se spalovacím motorem vyrobená pro soutěž Formula Student 2014.



Obrázek 3.3: Formule 1 na závodním okruhu v Brně.



Obrázek 3.4: Vůz závodící na okruzích – Ferrari Challenge.

4 Zvolení radaru s ohledem na aplikaci

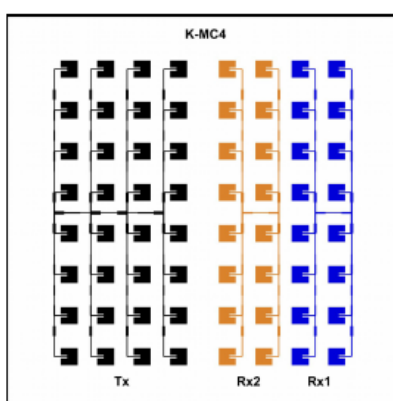
Ne vždy máme přístup k datům z jednotky vozu, proto je vhodné použít externí měření.

Definice uvedená v kapitole 2 říká, že z radarových dat můžeme získat rychlost objektu. Dalším faktem pro zvolení radaru ve spojení se závodními vozy je to, že policie při kontrolách rychlosti vozidel na silnicích využívá radarové měření a jako objekt odrážející vlnění se auta sériová od závodních často neliší.

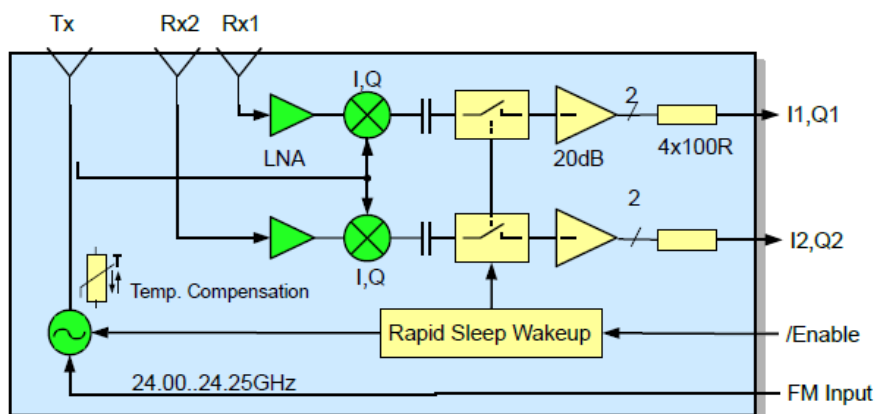
K dispozici máme radarový modul K-MC4 viz obrázek 4.1. Tento radar použijeme jako statický. Používaný modul K-MC4 má vysílač, označený Tx, a dva přijímače Rx1 a Rx2, náčrt je na obrázku 4.2.



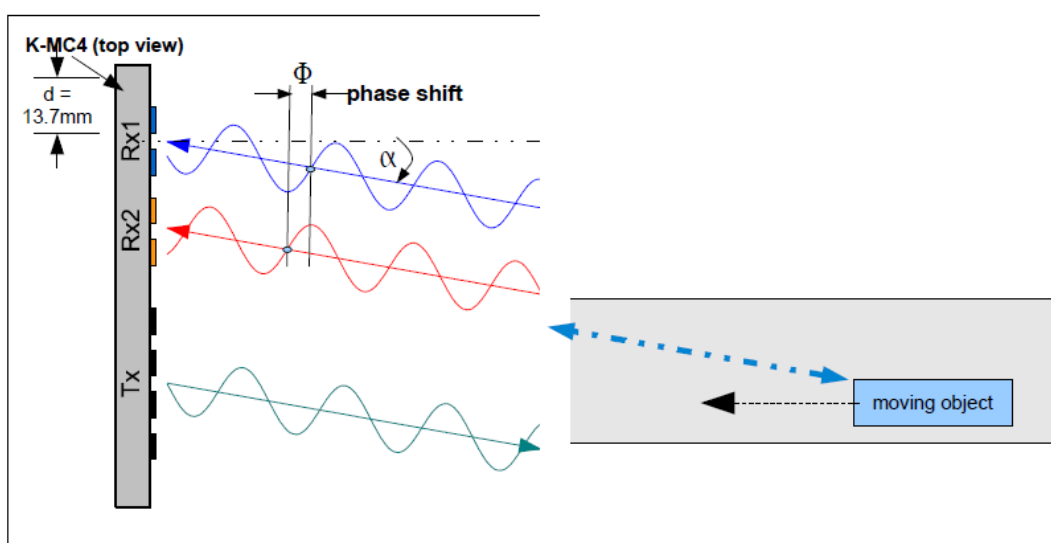
Obrázek 4.1: Použitý modul K-MC4 (převzato z [5]).



Obrázek 4.2: Barevné rozlišení vysílače - černý a dvou přijímačů - hnědý a modrý (převzato z [5]).



Obrázek 4.3: Blokové schéma radaru – jeden výstup je zesílený více a jeden méně (převzato z [5]).



Obrázek 4.4: Náčrt fázového posunu, ze kterého lze zjistit úhel, pod kterým se pohybuje objekt (převzato z [5]).

4.1 Umístění radaru

Jako vhodné místo pro radar se jeví vnější část ostré zatáčky, protože se v tomto místě vůz pohybuje kolmo na radar (obrázek 4.5) a nedochází tak k chybám měření způsobeným faktorem kosinového úhlu, ale jelikož právě v těchto úsecích dochází k výjezdům mimo trať (obrázek 4.6) a mohlo by dojít ke kolizi s radarem, případně jeho obsluhou, tak bychom toto místo volit neměli.

Další možností je umístění radaru na most nebo jinou konstrukci nad tratí a měření z výšky v přímém směru, viz obrázky 4.7 a 4.8.



Obrázek 4.5: Vůz v místě, kdy se pohybuje v přímém směru.



Obrázek 4.6: Výjezd auta mimo trať (převzato z http://g.denik.cz/35/e5/lounovaolga-14rally_denik-605.jpg).

V případě, kdy nemůžeme umístit radar přímo proti vozu, je možné měřit i z míst vedle trati, protože díky dvěma přijímačům zvoleného modelu K-MC4 lze snadno určit úhel pro korekci měření. Úhel α získáme pomocí fázového posunu výstupů radaru:

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

kde α je úhel mezi osou radaru a objektem [°], ϕ fázový posun výstupů I a Q, k je konstanta 6,7.



Obrázek 4.7: Most nad tratí na okruhu CzechRing (převzato z <http://www.czechring.cz/en/images/foto-most.jpg>).



Obrázek 4.8: Fotografie z měření dat na mostě z obrázku 4.7.

5 Zpracování signálu

K-MC4 produkuje dva komplexní výstupy, signály I (imaginární) a Q (reálný) jsou vůči sobě fázově posunuty o 90° , posun značí směr pohybu objektu [5].

Vysílací frekvence je 24 GHz.

Na zpracování signálu a zjištění rychlosti z dat je použit program MATLAB.

5.1 Segmentace

Kvůli použití FFT je vhodné rozdělit zpracovávaná data na části o velikosti mocniny dvou. Bylo zvoleno zpracování úseků o velikosti 256.

5.2 Stejnoseměrná složka

Odstraněním stejnosměrné složky odstraníme nežádoucí špičku, která by zkreslovala výsledky. Tuto operaci provedeme v každém segmentu zvlášť. V tomto kroku využijeme funkci *mean*.

5.3 Fourierova transformace

Rychlá Fourierova transformace (FFT – Fast Fourier transform) je rychlejším algoritmem diskrétní Fourierovy transformace. V MATLABu je k dispozici funkce *fft*.

Pro přesnější výstup se používá technika zero padding, výsledkem je větší množství bodů, díky čemuž je méně pravděpodobné, že se hledaná hodnota ztratí mezi dvěma body.

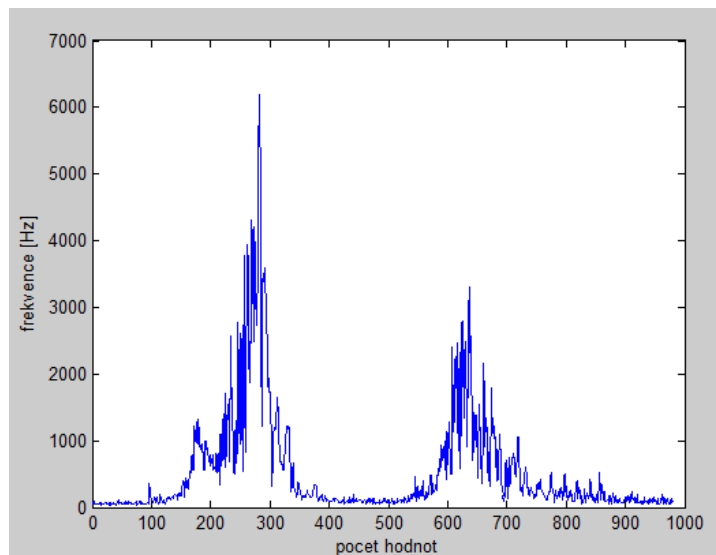
5.4 Rychlost

Maximální rychlost získáme ze vzorce

$$v_r = \frac{f_d}{2f_t} c, \quad (4)$$

kde v_r je relativní rychlost objektu [m/s], f_d je získaná frekvence [Hz], f_t je vysílací frekvence radaru [Hz] a c je rychlost světla ve vakuu 299 792 458 m/s.

Na obrázku 5.1 jsou zaznamenány dva vozy, s pomocí grafu je možné určit maximální rychlost každého z nich.



Obrázek 5.1: Průjezd dvou vozů s rozstupem.

6 Závěr

V této práci se podařilo získat rychlost z naměřených dat, přesto lze ještě fázi vyhodnocování zlepšit a zautomatizovat, především se zaměřit na zpřesnění výsledku pomocí jiné metody měření rychlosti, například měřením času při průjezdu krátkým úsekem nebo porovnáním s výsledky nějakého kalibrovaného přístroje.

V pokračování práce lze vytvořit aplikaci s vyhodnocováním rychlosti s minimálním zpožděním a zobrazováním na externím displeji, což by bylo atraktivní i pro diváky na různých soutěžích.

Literatura

- [1] M. Skolnik: Radar Handbook, 3rd edition, McGraw-Hill Professional, 2008
- [2] M. Skolnik: Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill Science, 3rd edition, 2002
- [3] M. A. Richards: Fundamentals of Radar Signal Processing, 1st edition, McGraw-Hill, 2005
- [4] LINHART, Jiří. *Slovník cizích slov pro nové století*. Litvínov: Dialog, 2005. ISBN 80-85843-61-7
- [5] RFbeam Microwave GmbH. *K-MC4 Monopulse Radar Transceiver*. 2011.
- [6] Maršík, L.: Accelerated and Embedded Radar Signal Processing Algorithms, Ph.D. Thesis statement, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology, 2012
- [7] Černocký, J.: Zpracování řečových signálů - studijní opora, 2006
- [8] Webové stránky radartutorial.eu. Dostupné na <www.radartutorial.eu>

Seznam příloh

Příloha 1. CD