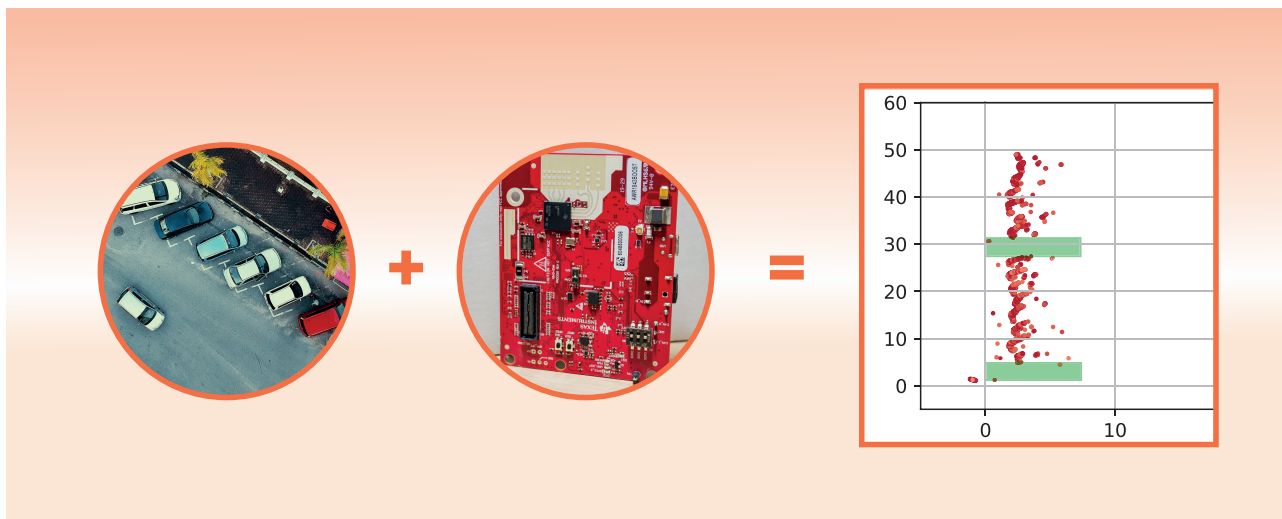


Detekce parkovacích míst s použitím radaru

Kateřina Kunorzová*



Abstrakt

Cílem práce je detekovat parkovací místa a využít k tomu radarové zařízení. Radar vysílá signál a ten se následně odráží od objektů v okolí radaru a je zpět přijímán. Po zpracování je k dispozici 2D/3D point cloud (prostor kolem radaru). Propojením této informace s rychlostí vozu či GPS polohou je možné získat posun automobilu a vypočítat souřadnice bodů z okolí. Následně lze tyto body postupně ukládat a zpřesňovat tak prostor, kudy auto projíždí. Výsledkem je mapa bodů, ve které lze pomocí vhodných metod detekovat volná parkovací místa. Propojením místa s příslušným GPS záznamem je k dispozici přesná GPS poloha volného místa. Výsledkem práce je systém analyzující radarová data. Přínosný může být jako vstup pro celkový systém monitorování volných míst, který by řidičům jeho využíváním ušetřil spoustu času.

Klíčová slova: FM-CW radar — Detekce parkovacích míst — Zpracování signálu

Příložené materiály: [Demonstrační video](#)

*xkunor00@stud.fit.vutbr.cz, Fakulta informačních technologií, Vysoké učení technické v Brně

1. Úvod

Žijeme ve 21. století a technologie jsou nám stále bližší. Umělá inteligence čím dál častěji nahrazuje práci lidí. Rychlému vývoji neunikl ani automobilový průmysl. Na počátku minulého století jsme ve světě mohli vidět první automobily. Ty však nemají příliš společného s těmi dnešními. Počet automobilů ve městech se stále zvyšuje a často se řeší problém s nedostatkem parkovacích míst. Lidé stráví spoustu času hledáním vhodného místa k parkování a mno-

hdy musí několikrát projet celou čtvrť, než se jim to opravdu podaří. Na trhu nalezneme různá řešení tohoto problému. Parkoviště využívají technologií v podobě kamer, indukčních smyček či pozemních senzorů. Problémem je ale investice do velkého počtu jednotek k pokrytí všech parkovacích prostorů. Navíc přesnost těchto zařízení může být ovlivněna počasím či vizualizačními podmínkami. Radarová technologie je v těchto oblastech mnohem spolehlivější. Radar by byl součástí automobilů a nebylo by třeba dalších ex-

terních jednotek ke sběru dat. Dokonce by bylo možné sdílet senzor z jiných systémů/asistentů, který už mají automobily zabudovaný. V dnešní době spolu auta dokážou čím dál více komunikovat a do budoucna by tak mohlo docházet k výměně informací – především sdílením prostoru kolem vozu.

2. Současná řešení

V této kapitole se budu věnovat jednotlivým existujícím řešením.

2.1 Kamera

Detekce pomocí kamer nemusí být přesná vlivem stínu či špatného počasí (deště, sněhu). Pokud kamera monitoruje pouze vjezd/výjezd parkoviště, může se stát, že velký automobil zakryje menší automobil, který jede ihned za ním. Stejný problém může nastat i v případě monitorování celého parkoviště, kdy velké automobily mohou zastínit ty menší. Plusem může být to, že kamera dokáže rozpoznat registrační značku automobilu. Řešení s využitím kamer není příliš finančně náročné, zároveň však neposkytuje dostatečně velkou spolehlivost a přesnost detekce.

Jedním z nejnovějších řešení je využití konvoluční neuronové sítě. Řešení má běžet na chytrých kamerách vybavených výpočetními schopnostmi. Tyto kamery by mohly být využity nejen na detekci parkování, ale například také k rozpoznávání tváří. [1]



Obrázek 1. Zařízení detekující parkovací místa popsaná v kapitole 2.

2.2 Pozemní senzory

Senzory jsou umístěny v zemi pod parkovacím místem. Existují různé typy a technologie. Princip je nejčastěji založen na měření geomagnetického pole Země, které je ovlivňováno různými kovy. Díky tomu může nějaké další zařízení uchovávat data o

obsazenosti parkoviště a poskytovat je řidičům formou informační tabule. Nevýhodou je však složitá instalace a především údržba senzorů na každém parkovacím místě. Zejména na parkovištích s obrovským počtem míst je tato varianta finančně nevýhodná.

2.3 Indukční smyčky

Výhodou je vysoká spolehlivost a odolnost vůči počasí. Nevýhodou je instalace. Zavedení indukčních smyček poruší vozovku. Smyčky jsou umístěny u vjezdu a výjezdu z parkoviště. Snímají kolik aut na parkoviště vjelo a kolik z něj vyjelo. Díky tomu tedy dokážeme spolehlivě zjistit stav parkoviště. Řidičům je ukázováno, kolik míst je na parkovišti volných. [2]

2.4 Radary

Obrovskou výhodou radarů oproti ultrazvukovým a optickým přístupům je odolnost vůči teplotním vlivům nebo měnícím se světelným podmínkám. Radarové zařízení je umístěno v blízkosti parkoviště, vysílá vlny do prostoru a překážky odráží vlny zpět, kde je radar zase zachytí. Algoritmus pak počítá, kde je umístěn objekt, který vlny odrazil. Zjišťuje velikost objektu a volný prostor kolem něj. Výsledky jsou předávány do centrálního systému, který pak může vizualizovat volná parkovací místa v navigacích či jiných aplikacích. Detekce může být vcelku přesná, ale řešení přináší opět jednu nevýhodu a tou je obrovské množství namontovaných radarů. Na pokrytí jednoho města bychom potřebovali několik desítek, možná stovek jednotek a to není finančně příliš výhodné.

Druhým přístupem je sběr dat přímo z vozidel, která mají radar či jiný senzor již zabudovaný. Tahle varianta ovšem zatím není ještě příliš zaběhlá. Existuje pár článků s popisem algoritmů řešící tento problém. Algoritmy jsou docela přesné, výpočetně nenáročné. Většinou však řeší spíše vyhodnocování parkovacích míst přímo za jízdy. Data se nikam neodesílají a řidič si nemůže předem zjistit, kde by se dalo parkovat. Ve své práci bych chtěla rozšířit i tuto oblast, sbírat data pohybujících se automobilů a společně se záznamem GPS detekovat pozici volných parkovacích míst.

3. Tvorba mapy prostředí

V této sekci je popsána implementační část práce. Nejdříve se zaměřuji na použití Kalmanova filtru a na propojení radarových dat s GPS polohou. Poté je vysvětleno určování směru jízdy a ukládání bodů do mapy prostředí.

3.1 Kalmanův filtr

Kalmanův filtr se využívá kdekoli, kde máme nejisté informace o dynamickém systému. Byl navržen

R. E. Kalmanem v roce 1960 a byl hojně využíván pro výpočet oběžné dráhy, sledování cíle či navigaci. Umožňuje matematicky zjistit hodnoty, které jsou přímým měřením těžko dosažitelné - například vlivem šumu nebo jiného rušení. To znamená, že díky znalosti předchozího stavu jsme schopni dopočítat stav následující. Kalmanovy filtry jsou ideálním řešením pro systémy, které se neustále mění. [3, 4, 5] Kalmanův filtr je použit pro zpřesnění GPS pozice. Pokud bychom totiž pozici automobilu odhadovali pouze z rychlosti vozu, mohlo by docházet k odchylkám, které by postupně narůstaly.

Nejprve se načte příslušný GPS záznam - v této fázi jsou potřebné pouze hodnoty zeměpisné šířky a zeměpisné délky. Jakmile máme k dispozici tyto hodnoty, lze přejít k implementaci samotného Kalmanova filtru. Využila jsem knihovny Pykalman¹. Na začátku je vždy třeba nastavit počáteční stav matice. Obdobná problematika byla diskutována na portálu Stack Overflow². Řešení se zdálo být funkční, proto jsem matice nastavila dle doporučení. Funkce vrací vyhlazené GPS pozice, se kterými mohu dále pracovat.

3.2 Propojení bodu s GPS polohou

Pro finální vyhodnocení volného místa je potřeba propojit GPS polohu s body v mapě prostředí. Python nabízí datový typ zvaný slovník. Na rozdíl od seznamu, kde jsou všechny prvky uspořádány do jedné sekvence, slovník obsahuje dva druhy prvků - klíč a hodnotu. Každému klíči pak přiřazujeme hodnotu. To je také důvod, proč jsem se rozhodla použít slovník a ne seznam. Slovník umožní propojení GPS polohy s časovým razítkem každého bodu. Tvorba slovníku probíhá ihned po uhlazení souřadnic prostřednictvím Kalmanova filtru. Ke každému časovému razítku v GPS záznamu je přiřazena odpovídající GPS poloha zpřesněna Kalmanovým filtrem.

Mám tedy vytvořený slovník, kde jsou klíče ve formě časových razítek. Ke každému klíči je přiřazena odpovídající GPS poloha. Díky tomu při určování GPS polohy stačí porovnat časové razítko bodů v mapě prostředí a najít nejbližší časové razítko (klíč) ve slovníku. Hodnota příslušející tomuto klíči představuje GPS polohu volného parkovacího místa.

3.3 Směr pohybu

Pokud je trajektorie pohybu zaznamenána a uložena do GPS záznamu, je zpětně možné z tohoto záznamu zjistit směr pohybu mezi jednotlivými body. Směrem

pohybu je zde myšleno, na jakou světovou stranu je orientován následující bod v trajektorii. Pro výpočet³ stačí znát zeměpisnou šířku a délku. Postup pro určení směru pohybu je následující:

$$m = \sin \Delta\lambda \times \cos \phi_2 \quad (1)$$

$$n = \cos \phi_1 \times \sin \phi_2 - \sin \phi_1 \times \cos \phi_2 \times \cos \Delta\lambda \quad (2)$$

$$a = \text{atan2}(m, n) \quad (3)$$

Platí, že ϕ_1 , λ_1 je zeměpisná šířka + délka počátečního bodu, ϕ_2 , λ_2 je zeměpisná šířka + délka koncového bodu a $\Delta\lambda$ je rozdíl zeměpisných délek obou bodů. Výsledek a je třeba převést na stupně. Vyjde číslo v intervalu $\langle 0^\circ, 360^\circ \rangle$. Pak už stačí pouze vyhledat směr.

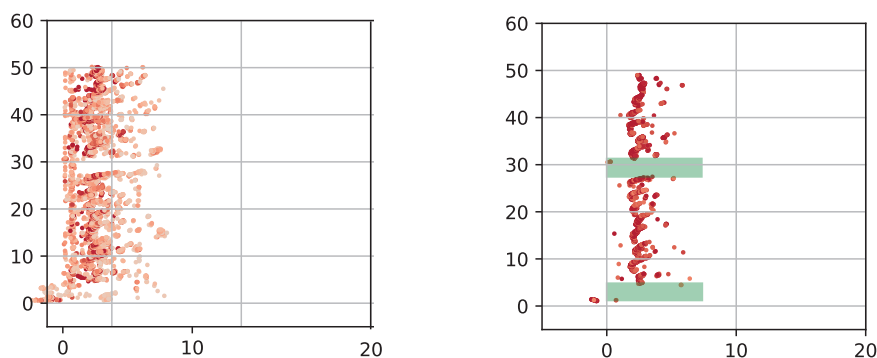
3.4 Ukládání bodů do mapy prostředí

Každou desetinu sekundy jsou k dispozici souřadnice bodů a ty uložím do pole, které představuje mapu prostředí - mapu bodů. Do pole jsou uloženy pouze body, které se nacházejí ve výseku 0° - 90° . K určení jestli se daný bod v tomto výseku nachází je využita funkce `atan2`, kde stačí zadat pouze souřadnice bodu a vyjde úhel, který se převede z radiánů na stupně. Důvodem je, aby se při detekci nestalo, že bude prostor analyzován vícekrát nebo nebude obsahovat v aktuální moment veškerá data. Výhodou je pohyb vozidla a sledování bodů k sobě. Občas se může stát, že vlivem pohybu auta radar zachytí stejný bod vícekrát. Díky tomu lze mapu bodů postupně zpřesňovat a zahušťovat. Jinak by byla mnohem řidší. Souřadnice bodů je ale potřeba přepočítávat. K tomu je využito právě GPS polohy a rychlosti vozu. Při výpočtu posunu nejprve proběhne synchronizace radarových měření s GPS záznamem. Poté je nutné zjistit, jestli pro daný okamžik existuje příslušný GPS záznam. Radar totiž měří každou desetinu sekundy, kdežto GPS záznam pouze každou sekundu. Dále je třeba konkrétní měření radaru propojit s odpovídajícím řádkem GPS záznamu. Z tohoto záznamu je uložena rychlost, kterou lze využít při dalším radarovém měření (v případě, že pro danou desetinu neexistuje GPS záznam). Pokud je záznam dostupný, pro výpočet posunu využijeme GPS polohy. Na výpočet vzdálenosti mezi dvěma

¹<https://pykalman.github.io/>

²<https://stackoverflow.com/questions/43377626/how-to-use-kalman-filter-in-python-for-location-data>

³<https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>



Obrázek 2. Ukázka filtrování mapy prostředí.

GPS souřadnicemi lze použít tzv. Haversinův vzorec⁴. Díky tomuto vzorci jsme schopni vypočítat vzdálenost mezi dvěma body na zemské kouli za předpokladu, že známe zeměpisnou šířku a zeměpisnou délku. GPS záznam poskytuje data každou sekundu. Použijí GPS souřadnice vyhlazené Kalmanovým filtrem a převedu si je ze stupňů do radiánů. Poté už je jen pomocí vzorce vypočítána vzdálenost.

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos\phi_1 \times \cos\phi_2 \times \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (4)$$

$$c = 2 \times \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{(1-a)}) \quad (5)$$

$$d = R \times c \quad (6)$$

Kde ϕ je zeměpisná šířka, λ je zeměpisná délka, R je zemský poloměr (střední poloměr = 6371 km⁵). Výslednou vzdálenost mezi dvěma body udává hodnota d .

V případě, že v daný časový okamžik GPS záznam neexistuje, pro výpočet posunu je využita rychlost vozidla. Posun lze určit pomocí klasického vzorce pro výpočet vzdálenosti, t představuje jednotku času a v rychlost automobilu: $s = v \times t$. Rychlost je známá z posledního GPS záznamu. Stačí ji převést z km/h na m/s . Čas je konstantní (0.1 s), protože radar měří každou desetinu sekundy a nás zajímá posun od posledního měření.

Jakmile je známá hodnota posunu, lze body vložit do mapy prostředí. Při prvním měření jsou uloženy souřadnice bodů tak jak jsou a s každým dalším měřením k souřadnici x připočítám ještě posun vozu, který je vypočítán buď skrze GPS polohu nebo skrze rychlost. Po přepočtu souřadnice jsou body uloženy do pole a tím se mapa prostředí postupně

zpřesňuje a rozšiřuje. Současně se ukládá také nové pole, které bude sloužit pouze pro vizualizaci a ne pro detekci míst. Aby však vizualizační mapa odpovídala směru pohybu vozidla, je třeba před uložením body přepočítat. Nejprve se určí aktuální poloha automobilu v mapě (pomocí směru jízdy a posunu) a poté dojde k rotaci bodů dle daného směru a přičtení těchto bodů k aktuální poloze automobilu. Společně se souřadnicemi jsou ukládány také další informace, které radar o daném bodě poskytuje, a jsou potřebné pro další postup. Například SNR (odstup signálu k šumu). V této funkci probíhá také zjišťování aktuálního směru jízdy. Ve slovníku se vyhledá aktuální GPS souřadnice příslušející časovému razítku bodu. Pokud je tato souřadnice odlišná od souřadnice předchozího bodu, dojde ke zjišťování. Detailnější popis je v podkapitole 3.3.

4. Detekce parkovacích míst

Jakmile je připravena mapa prostředí, lze přejít přímo k detekci volných parkovacích míst. Detekce probíhá tak často, aby bylo zaručeno, že nedojde k určení stejného místa vícekrát. Četnost detekování je určena podle rychlosti automobilu. K určení času detekce lze využít radarových měření. Radar měří, jak již bylo zmíněno, desetkrát za sekundu.

4.1 Filtrace mapy prostředí

Před samotnou detekcí je potřeba vyfiltrovat mapu prostředí. Je totiž příliš hustá a automatická detekce by v tomto případě nebyla možná. Body nejsou nijak filtrovány, ani skrze souřadnici z , ani skrze hodnotu SNR. Proto jsou vidět místy body, které se odrazily například důsledkem šumu. Prvním filtračním parametrem je souřadnice z . Pokud předpokládáme, že souřadnice z odpovídá vzdálenosti od roviny radaru a známe výšku umístění radaru nad zemí, lze dopočítat vzdálenost bodů od země. Pro účely této práce byl radar umístěn 0.8 metru nad zemí. Díky filtraci prostřednictvím souřadnice z lze tedy určit

⁴<https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>

⁵<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>

úsek, ve kterém očekáváme, že se automobily nachází. Ostatních bodů se dá zbavit, protože ty jsou pro detekci automobilu teoreticky nepotřebné a mohou značit různý šum. Dalším krokem je filtrování pomocí hodnoty SNR. Ta totiž udává odstup signálu k šumu a díky tomu je možné odfiltrovat body, které představují právě jen šum. Problém je, jak určit hodnotu prahu. Bylo nutné stanovit nějaký adaptivní práh. Každou desetinu sekundy je vypočítán medián hodnoty SNR bodů, které se doposud v mapě prostředí nachází. Dle tohoto výpočtu je mapa filtrována. Jakmile proběhne detekce, medián je počítán jen z bodů, které jsou nové a nebyly součástí poslední detekce míst. Výsledek filtrace lze vidět na obrázku 2.

4.2 Analýza mapy prostředí

Jakmile proběhne filtrace mapy prostředí, probíhá detekce volného místa. Mapa bodů je analyzována zvlášť pro kolmá a zvlášť pro podélná parkovací místa. V první fázi je třeba zjistit, do jaké hloubky je nutné prostor analyzovat. Sice dobře známe potřebnou délku (kolmé parkování) nebo šířku (podélné parkování) místa. V jaké vzdálenosti se radar, potažmo automobil nacházel, to však neznáme. Zde je využito myšlenky získané při studiu různých výzkumů v této oblasti [6]. Je potřeba vypočítat vzdálenost bodů od jedoucího automobilu. Tato hodnota vytvoří linii souběžnou s osou x - tzv. hranici překážek. Vzdálenost hranice překážek od automobilu lze vypočítat z následujícího vzorce:

$$o = \frac{1}{n} \times \sum_{y_i=1}^n y_i \quad (7)$$

kde n je počet bodů, pro které hranici překážek počítáme a y udává vzdálenost jednotlivých bodů od automobilu. [6]

Hranice překážek vyjadřuje průměrnou vzdálenost bodů od vozu. Tato hodnota je potřeba k určení potřebné vzdálenosti pro správně detekované parkovací místo. Mapa prostředí je seřazená od největších hodnot souřadnice x k nejmenším. Přes body procházím smyčkou. Vždy je porovnán aktuální bod s předchozím. Pokud jsou od sebe vzdáleny na požadovanou šířku parkovacího místa, a zároveň je hodnota souřadnic y daných dvou bodů ve vzdálenosti menší než požadovaná délka parkovacího místa + hodnota hranice překážek, je prostor považován za volné místo. V tento okamžik přichází na řadu již dříve sestavený slovník. Ten totiž umožní propojit konkrétní bod s příslušnou GPS polohou. Ve slovníku je vyhledáván klíč, který je nejbližší hodnotě časového

razítka bodu, a k němu odpovídající hodnota (GPS souřadnice). Jakmile je známá GPS poloha právě detekovaného místa, probíhá ještě kontrola, zda stejné místo nebylo už detekováno. V případě, že se jedná o první detekci daného místa, je uložena GPS pozice místa spolu s časovým razítkem do pole představující detekovaná místa. Při detekci je potřeba myslet na to, že filtrace mapy nemusí být stoprocentně dokonalá. Proto lze považovat za volné místo i prostor, kde se mezi odpovídající šířkou nachází několik osamocených bodů. Tyto body totiž mohly být odrazeny vlivem šumu či jiného nedostatku. Po sérii testů byla určena tolerance, konkrétně pěti bodů.

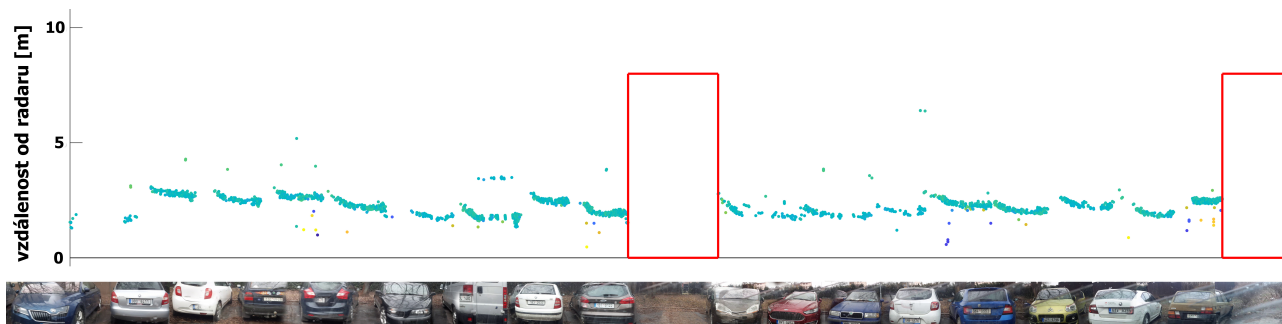
5. Vizualizace

Vizualizace probíhá prostřednictvím aplikace poskytnuté panem Ing. Lukášem Maršíkem. Každou desetinu sekundy jsou přefiltrované body z vizualizační mapy prostředí postupně vykreslovány pomocí knihovny `Matplotlib`⁶ v Pythonu. S každým radarovým měřením je také vykreslena aktuální pozice vozu prostřednictvím symbolu automobilu a je aktualizována trajektorie pohybu. Pokud je nalezeno volné místo, volá se funkce `visualize_place()`, která vykreslí dané místo do vizualizované mapy prostředí. Je potřeba vyhledat detekované souřadnice příslušející orotovanou souřadnici, aby bylo místo správně umístěno. Při tvorbě mapy prostředí se ukládají původní a orotované souřadnice, tudíž je možné tuto informaci dohledat. V mapě se objeví barevně vyznačené parkovací místo. Ukázka vizualizace je vidět na obrázku ??.

6. Použitý hardware

Radarové systémy FMCW se v posledních letech hojně začaly využívat v automobilových aplikacích jako je detekce mrtvého úhlu, asistence při změně pruhu, inteligentní tempomat nebo parkovací asistent. [7] Zpracování dat FMCW radarů je založeno především na rychlé Fourierově transformaci. Výhodami těchto radarů v porovnání s pulzními radary je krátká doba měření, nižší náklady, jednodušší hardware a architektura. V bezpečnostních aplikacích pro automobily se vyžaduje v krátkém čase aktualizace informací o dosahu a rychlosti cílů. Využitím výhod radaru FMCW dosáhneme generování a zpracování signálů v reálném čase. Na základě principu fungování radaru lze získat informaci o vzdálenosti a relativní rychlosti pohybu z frekvence přijatého signálu, která odpovídá době letu a Dopplerově posunu. [8]

⁶<https://matplotlib.org/>

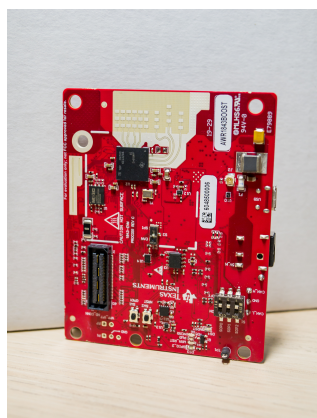


Obrázek 3. Mapa prostředí s detekovanými volnými místy.

Jedná se tedy o typ CW radaru, který využívá frekvenční modulaci s kontinuální vlnou, což umožňuje měřit vzdálenost objektu. Vyhodnocení probíhá bez přerušení příjmu. Radary měří vzdálenost, úhel a Dopplerovu rychlost. Srdcem radaru je signál zvaný chirp. Jedná se o signál, jehož frekvence se periodicky lineárně mění. Je to tedy v podstatě spojitá vlna s lineárně modulovanou frekvencí. Dále tento typ radarů lze dělit dle jejich lineární křivky na pomalé (slow-ramp) a rychlé (fast-ramp). V aplikacích využívající automobilové senzory je zpravidla výhodnější použití fast-ramp radarů.

6.1 Radarový modul AWR1843

Pro svou práci využívám radarový modul od společnosti Texas Instruments AWR1843. Konkrétně jde o integrovaný jednočipový snímač schopný provozu v rozmezí 76 GHz až 81 GHz. Radar obsahuje čtyři přijímací a tři vysílací antény. Zařízení má nízkoeenergetický procesor RFCMOS 45 nm od společnosti Texas Instruments. Modul AWR1843 je ideálním řešením pro nízkoeenergetické a velmi přesné radarové systémy v automobilovém odvětví. [9]



Obrázek 4. Modul AWR 1843 od společnosti Texas Instruments.

Společnost Texas Instruments vyrábí dvě skupiny senzorů - automobilové (angl. automotive) a průmyslové (angl. industrial). Modul AWR1843 řadíme do skupiny automobilových senzorů. Tyto

senzory se vyznačují vysokou přesností, všestrannou inteligencí a malou velikostí.

7. Závěr

Cílem práce bylo vytvořit systém, který bude spolehlivě detekovat volná parkovací místa. Výsledky lze vidět na ilustračním obrázku 3. Detekovaná místa odpovídají realitě. Myslím, že práce účel splňuje. Uživatel docela spolehlivě dostane požadovanou informaci v podobě GPS souřadnic. Testování proběhlo na nasbíraných vytvořených datasetech. Úspěšnost detekce míst byla 84 %.

Myslím, že už nyní je má práce přínosem, ale do budoucna je zde ještě prostor pro spoustu inovací, sběr dat z více projíždějících vozidel, ukládání těchto dat a následnou vizualizaci uživateli prostřednictvím přehledné aplikace. Aktuální stav práce neumožňuje rozpoznat více kolmých míst vedle sebe od podélného. To by šlo řešit prostřednictvím dalšího automatizovaného rozpoznávání. Případné úpravy poskytnou řidičům přehlednější a přesnější informace.

Poděkování

Velké díky patří panu Ing. Lukášovi Maršíkovi za ochotu, rady a vedení při tvorbě této práce.

Literatura

- [1] G. Amato, F. Carrara, F. Falchi, C. Gennaro, and C. Vairo. Car parking occupancy detection using smart camera networks and deep learning. In *2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*, pages 1212–1217, 2016.
- [2] V.N.V. Pavan, N.V. Nishanth, and J. Kathirvelan. Automation of vehicular parking using loop detector with single lane traffic: A design approach. *International Journal of Engineering and Technology*, 5:2471–2475, 06 2013.
- [3] Tim Babb. How a kalman filter works, in pictures. Online, Aug 2015.

- [4] Q. Li, R. Li, K. Ji, and W. Dai. Kalman filter and its application. In *2015 8th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems (ICINIS)*, pages 74–77, 2015.
- [5] Sharath Srinivasan. The kalman filter: An algorithm for making sense of fused sensor insight. Online. <https://towardsdatascience.com/kalman-filter-an-algorithm-for-making-sense-from-the-insights-of-various-sensors-fused-together-ddf67597f35e>.
- [6] Robert Prophet, Marcel Hoffmann, Martin Vossiek, Gang Li, and Christian Sturm. Parking space detection from a radar based target list. In *2017 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM)*, pages 91–94, 2017.
- [7] Yeonghwan Ju, Youngseok Jin, and Jonghun Lee. Design and implementation of a 24 ghz fmcw radar system for automotive applications. In *2014 International Radar Conference*, pages 1–4, 2014.
- [8] Jau-Jr Lin, Yuan-Ping Li, Wei-Chiang Hsu, and Ta-Sung Lee. Design of an fmcw radar baseband signal processing system for automotive application. *SpringerPlus*, 5, 12 2016.
- [9] Texas Instruments. Awr 1843 single-chip 76-ghz to 81-ghz automotive radar sensor integrating dsp, mcu and radar accelerato. Online. <https://www.ti.com/product/AWR1843>.