



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

MAPOVÁNÍ PROSTŘEDÍ ENVIRONMENT MAPPING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN MOHORKO

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ET ING. MARTIN BILÍK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Mohorko

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Mapování prostředí

v anglickém jazyce:

Environment mapping

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V práci bude zvolen typ neznámého prostředí, které má být mapováno. Práce samotná bude koncipována jako rešerše možností mapování daného typu neznámého prostředí pomocí dostupných senzorů. Tyto možnosti budou vzájemně porovnány.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše možností mapování prostředí.

Srovnání jednotlivých variant.



Seznam odborné literatury:

www stránky výrobců senzorů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. et Ing. Martin Bilík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 25.11.2014




doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu


doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá popisem možných způsobů mapování neznámého prostředí, kterým je v tomto případě jak vzdušné, tak i pozemní prostředí. Práce je zaměřena především na mapování radary a 3D skenery, a to přes jejich historii, rozdělení, metody snímání, metody zobrazení dat, popřípadě popis výstupních dat až po jejich praktické využití. Dále na základě zvolených kritérií byly metody porovnány a bylo vysvětleno, proč zrovna ona metoda je vhodnější. V práci nechybí ani zmínka o dalších používaných metodách mapování prostředí dnešní moderní doby a jejich využití i potenciál budoucího uplatnění. V závěru byl nastíněn možný koncept využití na radarovém lokalizačním systému ve spojení s 3D skenerem.

Abstract

This bachelor thesis deals with the description of possible ways of mapping the unknown environment, which could be in this case both environments - aerial and terrestrial. It is focused on mapping by radars and 3D scanners, through their history, distribution, scanning methods, methods of displaying data or description of output data to their practical application. Furthermore based on selected criteria, methods were compared and it was explained why and which method is preferable than the other one. There is also in this work mention of other methods used for environment mapping of today and their use and potential for several future applications. In the conclusion was outlined the possible use concept on the radar locating system in connection with the 3D scanner.

Klíčová slova

Radar, detekce, snímání, 3D skener, digitalizace, kamera

Keywords

Radar, detection, scanning, 3D scanner, digitisation, camera

Bibliografická citace

MOHORKO, M. *Mapování prostředí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. et Ing. Martin Bilík.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma Mapování prostředí zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

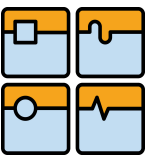
V Brně dne

.....

podpis

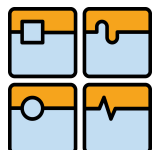
Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. et Ing. Martinu Bilíkovi za jeho ochotu, důležité rady, nápady a připomínky k mé bakalářské práci a v neposlední řadě za jeho čas. Dále bych rád poděkoval pánům z firmy VOP CZ s.p. za cenné informace a exkurzi v jejich firmě. Na závěr patří velké poděkování mé rodině a nejbližším za jejich podporu.

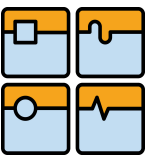
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 9
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Obsah:

1	ÚVOD	11
2	MAPOVÁNÍ VZDUŠNÉHO PROSTORU.....	12
2.1	RADARY	12
2.2	HISTORIE RADARU	12
2.3	PRINCIP ČINNOSTI RADARU.....	13
2.4	ZÁKLADNÍ PRVKY RADARU	14
2.4.1	<i>Generátor.....</i>	14
2.4.2	<i>Vysílač</i>	14
2.4.3	<i>Anténa.....</i>	14
2.4.4	<i>Přijímač.....</i>	15
2.4.5	<i>Přepínač.....</i>	15
2.4.6	<i>Monitor.....</i>	15
2.5	ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ RADARŮ.....	16
2.5.1	<i>Aktivní radar.....</i>	16
2.5.2	<i>Pasivní radar.....</i>	17
2.6	METODY SNÍMÁNÍ PROSTORU RADAREM.....	18
2.6.1	<i>Snímání 2D.....</i>	18
2.6.2	<i>Kombinované snímání 2x2D.....</i>	19
2.6.3	<i>Snímání 3D.....</i>	19
2.7	METODY ZOBRAZENÍ PŘIJÍMANÝCH ÚDAJŮ	20
2.7.1	<i>A-scope.....</i>	21
2.7.2	<i>B-scope.....</i>	21
2.7.3	<i>C-scope.....</i>	21
2.7.4	<i>PPI.....</i>	22
2.7.5	<i>Sektorový PPI (výseč).....</i>	22
2.8	DALŠÍ MOŽNÉ VYUŽITÍ RADARU.....	23
2.8.1	<i>Geodézie.....</i>	23
2.8.2	<i>Meteorologie</i>	24
2.8.3	<i>Antikolizní radar</i>	24
3	MAPOVÁNÍ POZEMNÍHO PROSTORU.....	25
3.1	3D SKENERY	25
3.2	VÝVOJ 3D SKENERU	25
3.3	ROZDĚLENÍ 3D SKENERŮ	25
3.3.1	<i>Kontaktní skenery</i>	26
3.3.2	<i>Bezkontaktní skenery.....</i>	26
3.3.3	<i>Optické skenery</i>	26
3.3.4	<i>Laserové skenery.....</i>	27
3.3.5	<i>Mechanické skenery</i>	27

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 10
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3.3.6	<i>Destruktivní 3D skenery</i>	28
3.3.7	<i>Rentgenové skenery</i>	28
3.3.8	<i>Ultrazvukové 3D skenery</i>	29
3.4	METODY SKENOVÁNÍ	29
3.4.1	<i>Triangulační metoda</i>	29
3.4.2	<i>Time of flight metoda (TOF)</i>	30
3.4.3	<i>Interferometrie</i>	30
3.5	VÝSTUPNÍ DATA	30
3.5.1	<i>Mračno bodů</i>	31
3.5.2	<i>Polygonová síť</i>	31
3.6	MODERNÍ VYUŽITÍ 3D SKENOVÁNÍ	32
3.6.1	<i>Letecké laserové skenování</i>	32
3.6.2	<i>Skenování postav (obličej)</i>	33
3.6.3	<i>Kontrola podvozků systému Kerberos</i>	34
3.6.4	<i>Další využití v praxi</i>	35
3.7	LASEROVÉ KAMERY BUDOUCNOSTI	35
3.7.1	<i>Kamera v praxi</i>	37
4	DALŠÍ MOŽNÉ METODY MAPOVÁNÍ PROSTŘEDÍ	38
4.1	<i>GOOGLE PROJEKT TANGO</i>	38
4.2	<i>KINECT</i>	39
4.3	<i>JESTŘÁBÍ OKO (HAWK EYE)</i>	40
5	VOLBA VHODNÉ METODY MONITOROVÁNÍ PROSTŘEDÍ PRO AUTONOMNÍ ZAŘÍZENÍ	41
5.1	<i>POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH METOD</i>	41
5.2	<i>VOLBA RADAROVÉHO SYSTÉMU</i>	42
5.2.1	<i>Princip radaru ReTWis</i>	43
5.3	<i>VOLBA 3D SKENERU</i>	43
5.4	<i>FUNKCE ČINNOSTI AUTONOMNÍHO ZAŘÍZENÍ</i>	44
6	ZÁVĚR	45
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	46
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	50
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
10	SEZNAM TABULEK	52

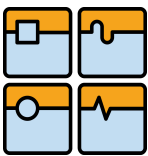
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 11
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

1 ÚVOD

Mapování prostředí je velmi obecný a široký pojem zahrnující nespočet možností, kterými je možné neznámé prostředí nějakým způsobem zmapovat. Tato práce je zaměřena na mapování vzdušného a pozemního prostoru. Vybranými zařízeními pro snímání toho druhu prostředí jsou radary, 3D skenery a laserové kamery. Problematika laserových kamer je zmíněna pouze stručně, protože tato technologie je stále v testovací fázi a tím pádem nejsou tak ještě plně dostupné veškeré potřebné a podstatné informace. Větší pozornost je proto věnována prvním dvěma jmenovaným technologiím: radarům a 3D skenerům.

V práci je popsán vývoj těchto metod, jejich rozdělení a popis, dále metody snímání prostoru a také jejich využití v praxi, kde mají důležité uplatnění například v reverzním inženýrství. Výhodou radarů je možnost detekování objektů za jakýchkoliv podmínek kdekoliv na Zemi, ať už je den nebo noc. Dokonce ani oblačnost a mírný déšť nemá vliv na snímání prostoru. V další části práce jsou na základě dostupných a zjištěných informací tyto metody porovnány.

Součástí práce je i stručný popis moderních, užitečných a oblíbených používaných metod pro mapování prostředí. Popsáno je i jejich využití a potenciál, který nebyl ještě ani zdaleka tak probádán, jelikož se jedná o poměrně nové technologie usnadňující lidské činnosti dnešní doby.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 12
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

2 MAPOVÁNÍ VZDUŠNÉHO PROSTORU

Ukázkovým příkladem mapování tohoto typu prostředí jsou radary, které detekují převážně letadla a podobné objekty nacházející se ve vzduchu. Dalšími příklady mohou být níže zmíněné 3D skenery, laserové kamery, klasické kamery nebo dnes také již mobilní telefony a další.

2.1 RADARY

Radiolokátor, nebo v dnešní době více používaný výraz radar, je radioelektronické zařízení sloužící k identifikaci objektů (cílů) a zaměření jejich polohy v prostoru, případně měření jejich vzdálenosti pomocí elektromagnetického vlnění v pásmu rádiových vln. Slovo radar je odvozeno z anglických slov vystihujících jeho funkci: radio detection and ranging, čili rádiové odhalování a určování vzdálenosti. Oblast zabývající se detekcí objektů a určením jejich souřadnic pomocí elektromagnetických vln se nazývá radiolokace. [1]

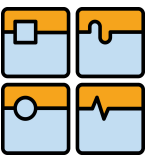
2.2 HISTORIE RADARU

První teorie elektromagnetického pole pochází z druhé poloviny 19. století, kterou se zabýval anglický fyzik James Clerk Maxwell. Úspěšný pokus přenosu signálu od vysílače k přijímači pomocí elektromagnetického vlnění předvedli roku 1895 ruský fyzik Alexandr Stěpanovič Popov a italský vynálezce Guglielmo Marconi. Roku 1904 pak německý technik Christian Hülsmeier vynalezl a také si nechal patentovat své zařízení nazvané Telemobiloskop, jakožto předchůdce radaru. Jednalo se o zařízení, které dokázalo odhalit pouze velké vodivé předměty jako lodě nebo vlaky.



Obr. 1: Telemobiloskop [2]

Roku 1922 američtí inženýři Albert Hoyt Taylor a Leo Crawford Young jako první pomocí radaru s kontinuální vlnou detekovali dřevěnou loď. O první detekci letadla se v USA roku 1930 postaral Lawrence A. Hyland. Za skutečného průkopníka

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 13
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

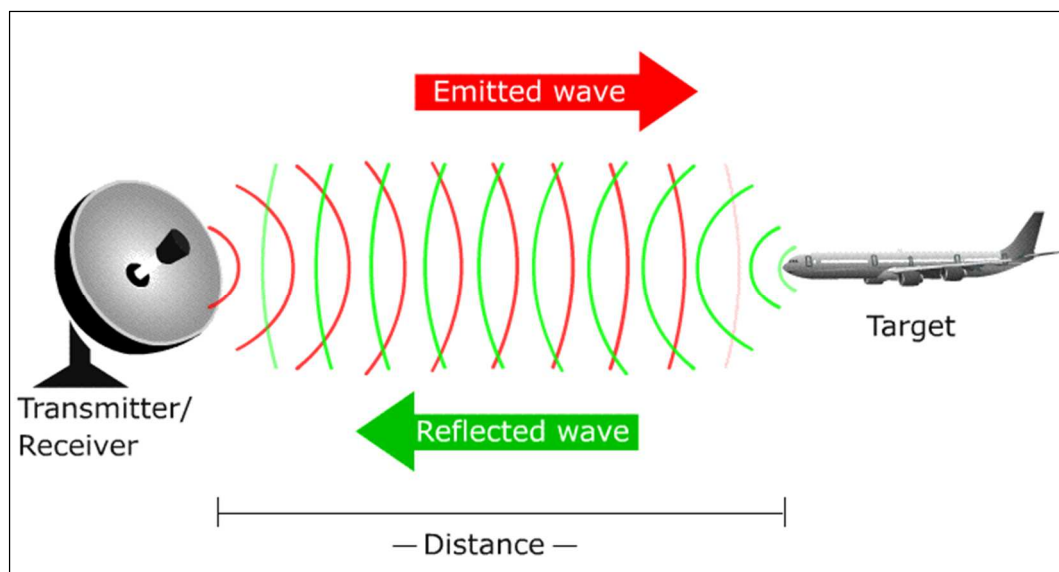
radaru je považován sir Robert Watson-Watt, skotský elektrotechnik, který roku 1935 sestrojil první prakticky použitelné zařízení sloužící pro rádiovou detekci letadel pomocí mikrovln.

Na konci 30. let před začátkem druhé světové války se začala radarová technika velmi rychle rozvíjet hlavně v USA, Německu, Velké Británii a později také v dalších zemích. Před vypuknutím války byly ve Velké Británii vybudovány radarové systémy určené na ostrahu vzdušného prostoru a k varování před útokem německých letadel. Taktéž bombardéry byly vybaveny radary pro zobrazování zemského povrchu a vyhledávání ponorek. Radarová technika se po 2. světové válce začala velmi rychle rozvíjet. Využití našla hlavně v civilním sektoru, kdy se radary používaly pro řízení letového provozu, navigaci lodí a letadel, ale také ve vojenství, kdy se radary uplatňovaly pro zaměřování a navádění raket. V sedmdesátých letech se již začala využívat digitální technika zejména pro ovládání, diagnostiku a komunikaci částí zařízení. Později v osmdesátých letech se s nástupem mikroprocesorů začala digitální technika používat i pro zpracování signálu a zobrazení situace. [3], [4]

2.3 PRINCIP ČINNOSTI RADARU

Zdrojem vysokofrekvenčních signálů je generátor. Tyto signály jsou poté zpracovány vysílačem, který je přivádí na anténu, která je poté ve formě elektromagnetických vln vyšle rychlostí 300 000 km/s do okolního prostoru. Úkolem antény je jak vyslání, tak i příjem odražených vln. Ke zpracování přijatého signálu zachyceného anténou slouží přijímač. Poté je přijatý signál přiveden na monitor, kde se získané údaje vyhodnocují a zobrazují nebo se dále zpracovávají a předávají do multiradarové sítě.

Ze zpoždění mezi vyslaným a přijatým signálem lze určit vzdálenost a pomocí směrových vlastností antény lze zjistit směr detekovaného předmětu. Rychlost předmětu lze určit ze vzdáleností naměřených v přesně měřených časových intervalech při minimálně dvou měřeních. Jako druhý způsob určení rychlosti lze využít Dopplerova jevu – jestliže je objekt vzhledem k radaru v pohybu, dochází tak k posuvu frekvence a vlnové délky přijímaného oproti vysílanému signálu. [5], [8]



Obr. 2: Princip činnosti radaru [11]

2.4 ZÁKLADNÍ PRVKY RADARU

Radar se skládá z několika hlavních částí, kterými jsou: generátor, vysílač, anténa, přijímač, přepínač a monitor.

2.4.1 Generátor

Jako generátor může sloužit elektronka (magnetron, klystron) nebo polovodičový prvek, ve kterém se vytváří vysokofrekvenční signály. [5]

2.4.2 Vysílač

Hlavní funkcí vysílače je zpracování signálu z generátoru a následné přivedení na anténu. Tento vysokofrekvenční impulzně modulovaný signál s vysokou energií je nezbytný pro maximální dosah radaru. [5]

2.4.3 Anténa

Zajišťuje vyslání signálu v podobě elektromagnetických vln do okolí a po odrazení i jejich následný příjem. V některých případech je možné se setkat pouze s jednou anténou jak pro vysílání, tak i příjem signálu. Rovněž se také používá zvlášť anténa pro vysílání a zvlášť pro příjem. Kvalita antény může ovlivnit citlivost, dosah a směrové rozlišení radaru. [5]

2.4.4 Přijímač

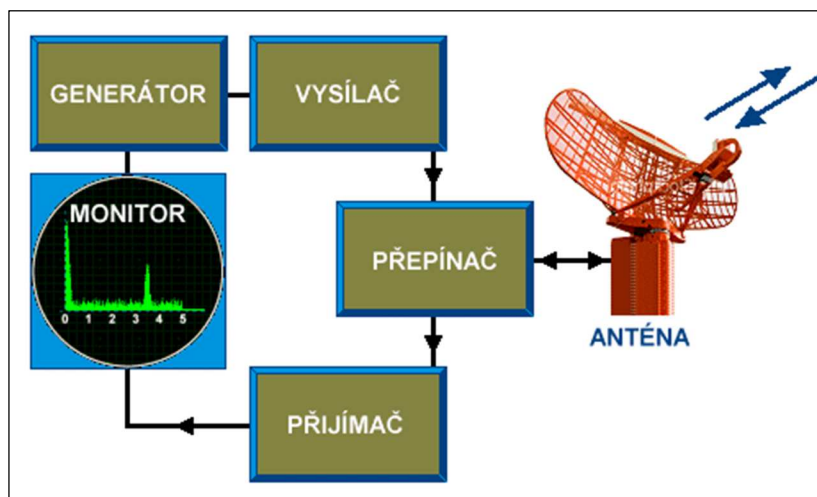
Zabezpečuje zesílení přijatého odraženého signálu zachyceného anténou a následné zpracování. Dalším úkolem přijímače je eliminovat rušivé a nežádoucí signály, jako jsou šum a odrazy od malých blízkých objektů (křídla ptáků, meteorologické objekty apod.) Pokud by nedošlo k oddělení těchto neužitečných signálů, mohlo by dojít k rušení nebo dokonce k znemožnění identifikace, respektive sledování objektů na zobrazovací jednotce radaru. [5]

2.4.5 Přepínač

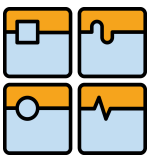
Hlavním úkolem přepínače (duplexoru) je připojení antény k vysílači při vysílání a k přijímači při přijímání signálu. Přepínač je velmi důležitou součástí systému, neboť při vysílání může dojít ke zničení přijímače právě vysílanou vysokofrekvenční energií a zároveň předchází ztrátám při příjmu signálu tím, že „vypojí“ vysílač. [5]

2.4.6 Monitor

Je zobrazovací zařízení, které je současně připojené ke generátoru a k přijímači. Na monitoru jsou následně zobrazeny údaje jednotlivých objektů (poloha, rychlost a vzdálenost), které se mohou dále zpracovávat a předávat. [5]



Obr. 3: Schéma činnosti radaru [5]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 16
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

2.5 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ RADARŮ

Kritérií, podle kterých se radary rozlišují, je v dnešní době spousta, ale obecně lze radary rozdělit do dvou hlavních skupin na aktivní a pasivní, záleží, zda jsou zdrojem vlastních rádiových vln či nikoliv. Aktivní radary můžeme dále rozdělit podle principu činnosti na primární a sekundární a z hlediska charakteru vysílaného signálu na impulzní a radary s kontinuální vlnou.

2.5.1 Aktivní radar

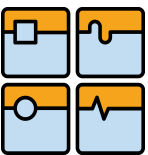
Aktivní radary vyzařují elektromagnetické vlnění do okolního prostoru. Dělíme je podle principu činnosti na primární a sekundární a podle charakteru signálu, který je vyslán k cíli na radary impulzní a radary s kontinuální vlnou.

Primární radar

Primární radary vysílají elektromagnetickou vlnu, šířící se od antény radaru do prostoru. Energie odražená od okolních objektů je poté radarem zachycena a vyhodnocena. Udávají informace o poloze, vzdálenosti, popřípadě rychlosti objektu. Primárními radary mají široké uplatnění. V praxi jsou využívány v meteorologii, mohou sloužit pro ostrahu prostorů, měření rychlosti, vojenské aplikace, ale také jsou používány například v bezpečnostních systémech automobilů, mnohých čidlech a podobně. [8]

Sekundární radar

Sekundární radar je zařízení, které stejně jako radar primární vysílá signál, ale namísto odraženého signálu přijímá a zpracovává signál nový, jehož vyslání má na starost odpovídač (transpondér) umístěný na sledovaném předmětu. V tomhle případě je tedy na rozdíl od primárního radaru nutná spolupráce sledovaného cíle. Sekundární radar je založen na principu dotaz – odpověď. To tedy znamená, že radar vyšle elektromagnetický signál - dotaz pomocí pozemního dotazovače, který zachytí například palubní odpovídač v letadle. Odpovídačem je poté signál zpracován a vyhodnocen a s určitým zpožděním vyslán jako odpověď zpět k dotazovači sekundárního radaru. Vyslaná odpověď pracuje většinou na jiné frekvenci a je dále vyhodnocována. Dispečer poté vidí podrobné informace o sledovaném objektu jako je výška, číslo letu, identifikaci letadla apod. Nevýhodou tohoto typu radaru je, že lze detekovat pouze objekty vybavené danými odpovídači. Oproti tomu výhodou je možnost získání přesnějších informací o sledovaném objektu, ale i větší dosah radaru nebo omezení přijatých nežádoucích signálů (odrazy od země, budov, mraků apod.) Sekundární radary se používají například v lodní navigaci, k řízení letového provozu, ale i pro vyhledávání posádek v krajních situacích. [6], [8]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 17
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Impulzní radar

Je typický jedinou anténou, která se střídavě zapojuje k vysílači a přijímači. To znamená, že impulzní radary pravidelně střídají vysílání (pulzního) výkonu a přijímání odražených signálů. Nejprve je z antény vyslán krátký elektromagnetický impulz, kdy je mezitím přijímač vypnutý, tudíž nemůže být přijímán žádný signál. Po vyslání signálu se přijímač zapne a po přepnutí dochází k zachycení odraženého signálu. Tímto typem radaru je možné dosáhnout vyššího vyslaného středního výkonu a lze také určit vzdálenost, směr a výšku letadla. [6]

Radar s kontinuální vlnou

Tento typ radaru vysílá nepřetržitě signál k danému cíli a současně i tak odražený signál přijímá. Tudíž radar s kontinuální vlnou má dvě antény – pro vysílání a pro příjem signálu. Uplatňuje se například pro měření rychlosti vozidel policejními složkami, měření výšky letadel nad terénem, bezpečnostní ochranná čidla vnitřních prostor. Oproti impulznímu radaru má jednodušší obvody zpracování signálu. [6]

2.5.2 Pasivní radar

Pasivní radar nevysílá žádné elektromagnetické záření, pouze detekuje signály, které jiné objekty v okolí samy vytváří a vysílají. Původcem těchto signálů jsou například radiostanice, mobilní telefony nebo odpovídač sekundárního radaru, nacházející se přímo na sledovaných objektech nebo se může jednat o signály, které se od sledovaného objektu pouze odrážejí, tudíž jsou generovány nějakými vnějšími zdroji (signál GPS, TV, rozhlasový signál apod.). Pasivní radary se využívají na letišti k řízení letového provozu, ale své uplatnění má také v armádním sektoru, příkladem může být pasivní sledovací systém VĚRA. Pasivní radary jsou neméně tak důležité jako radary aktivní, nicméně v oblasti mapování neznámého prostředí není tento typ radaru vhodný. Z tohoto důvodu byl popsán pouze stručně a dále mu již nebude věnována pozornost. [7]



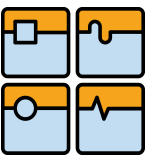
Obr. 4: Rozložený radar VĚRA [7]

2.6 METODY SNÍMÁNÍ PROSTORU RADAREM

Před určením polohy cíle je pochopitelně nutné ho nejdříve vyhledat. Procesu prohledávání okolí radarem se říká snímání. Snímání prostoru je možné rozdělit podle počtu určených souřadnic na 2D snímání (jednoduché) a 3D snímání (složené), popřípadě kombinaci 2x2D.

2.6.1 Snímání 2D

U této metody je výstupem pouze jedna, maximálně dvě souřadnice (většinou azimut a šikmá vzdálenost) a anténa koná pohyb okolo jedné osy. Pracuje se s anténou s úzkým svazkem přibližně $1^\circ - 2^\circ$ pouze v jednom směru, kdežto ve druhém směru se využívá mnohem širší svazek řádově $20^\circ - 90^\circ$. Tomuto svazku se říká vějířový (fan beam). 2D snímání je využíváno například u pozemních přehledových radarů, sloužících pro řízení letového provozu. U těchto radarů má anténa v horizontální rovině úzký svazek ($1^\circ - 2^\circ$). V elevaci je svazek poměrně široký ($20^\circ - 45^\circ$) a rotuje kolem svislé osy. Pro každý objekt je anténa schopna ve snímaném prostoru určit jeho azimut a vzdálenost. Dalším příkladem může být pozemní výškoměrný radar. Zde má, ale anténa úzký svazek ve vertikální rovině (kolem 1°) a široký svazek v azimutu a kývá vertikálně většinou v rozptylu elevací $0^\circ - 45^\circ$. Anténa se podle nutnosti natáčí kolem vertikální osy tak, aby byl objekt detekován v libovolném azimutu. Tímto radarem je možné zjistit pouze vzdálenost objektu a jeho elevaci. Této metody snímání ve dvou rozměrech využívají i letecké

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 19
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

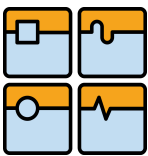
snímkovací radary pracující s anténou, která osvětluje úzký pás na povrchu terénu kolmý ke směru letu. [8]

2.6.2 Kombinované snímání 2x2D

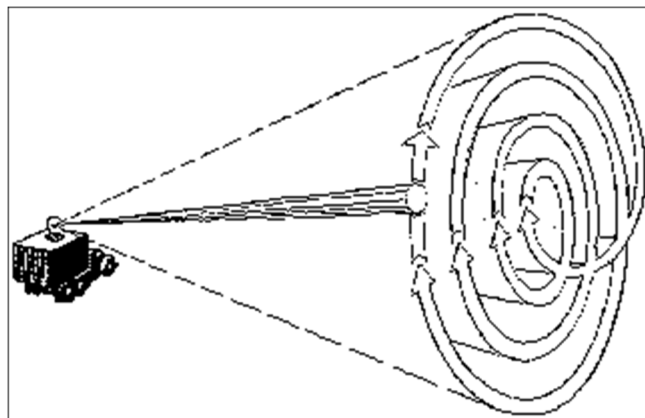
Často je nutné znát všechny tři prostorové souřadnice cíle a k tomu slouží právě 2x2D snímání respektive kombinace dvou 2D systémů využívající se především pro mapování prostoru například kolem letiště. První typem takové systému mohou být dříve zmíněné radary v kombinaci pozemního přehledového a výškoměrného radaru. Oba radary pracují nezávisle vedle sebe a jejich výstupy jsou poté společně zpracovávány. Nevýhodou tohoto systému je, že pracuje spolehlivě jen tehdy, vyskytuje-li se v okolí pouze několik samostatných cílů. Dalším známým kombinovaným systémem může být přesný přibližovací radar, který pokrývá oblast kolem sestupové osy přistávajícího letadla a to přibližně 10° v elevaci a 90° v azimutu. Radar je vybaven stranovou a výškovou anténou, které mají společný blok přijímač - vysílač, k němuž jsou střídavě připojovány. Úzký vějířový svazek stranové antény kývá okolo vertikální osy a pokrývá azimutální sektor. Zatímco výšková anténa s úzkým vějířovým svazkem pokrývá elevační sektor a kývá okolo horizontální osy. Důležitá je synchronizace obou antén. Přibližovací radar se používá pro kontrolu přistávajících letadel. Dvě antény s vějířovým svazkem využívá také tzv. V-systém. První anténa má úzký svazek v azimutu, druhá anténa stejné konstrukce je nakloněna od vertikální roviny tak, aby svazky vytvářely písmeno V. Antény jsou mechanicky spojeny a společně se otáčejí kolem vertikální osy. Objekt je nejdříve detekován v prvním svazku, poté s časovým zpožděním v druhém svazku. Doba mezi detekcemi v jednotlivých svazcích je přímo úměrná výšce letadla. Lze tak snadno spočítat elevaci i výšku letadla. [8]

2.6.3 Snímání 3D

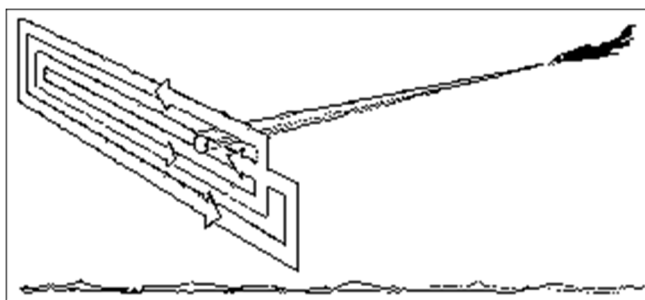
U tohoto typu snímání vykonává anténa pohyb okolo dvou nebo i tří os a umožňuje zjistit více polohových údajů o daném objektu. Mezi dva nejčastější 3D systémy patří systém s kónickým (spirálovým) a rastrovým snímáním. Pro první zmíněný systém je typické, že prohledávaný prostor je kónického tvaru. V tomto případě má anténa svazek, jehož hlavní lalok je úzký v obou směrech a nazývá se tužkový (pencil beam). Šířka obou svazků v obou rovinách se pohybuje většinou okolo 1° . Kónického snímání je nejčastěji využito například u střeleckých zaměřovacích radarů. Rastrového snímání je využito u moderních 3D systémů, kde se pohyb tužkového svazku vymezeným prostorem uskutečňuje v řádcích a sloupcích s tím, že na konci řádků nebo sloupců musí svazek prudce změnit směr trajektorie. V praxi tento typ snímání používá například pozemní přehledový 3D radar. Anténa tohoto radaru rotuje o 360° okolo vertikální osy a navíc je její svazek elektronicky vychylován ve svislém směru. Nevýhodou 3D systémů je značné

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 20
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

prodloužení doby snímání, za to si ale vystačí s menším vysílaným výkonem oproti 2D a 2x2D systémům. [8]



Obr. 5: Kónické 3D snímání [9]



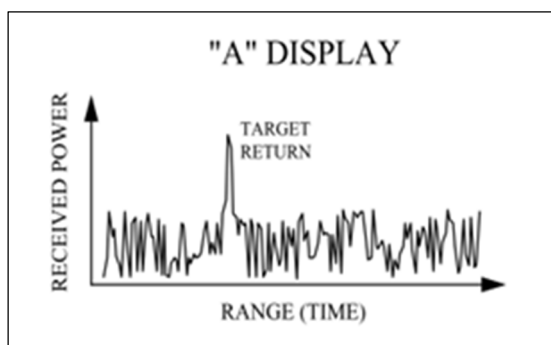
Obr. 6: Rastrové 3D snímání [9]

2.7 METODY ZOBRAZENÍ PŘIJÍMANÝCH ÚDAJŮ

Informace zachycené a zpracované radarem je důležité nějakým vizuálním způsobem zobrazit a prezentovat. Radarové zobrazení nám podává grafické informace o cíli. Požadavky uživatele a potřebné údaje, které je radar schopen určit jsou velmi důležité pro způsob zobrazení informací. Díky přijatému signálu je možné zjistit tři prostorové souřadnice (azimut, elevaci a šikmou vzdálenost) a radiální složku rychlosti. Pro prezentaci získaných údajů jsou při zobrazení k dispozici dvě souřadnice a jas (barva) zobrazovaných údajů. V dnešní době je zavedeno několik způsobů zobrazení údajů, které jsou označovány jako A-scope, B-scope, C-scope, PPI, sektorový PPI a u radarů využívající syntetickou aperturu taktéž zobrazení nazývané „mapa“. [8]

2.7.1 A-scope

Metoda A-scope zobrazuje časový průběh amplitudy přijímaného signálu. Jelikož je možné zobrazit pouze šikmou vzdálenost (dálku) jakožto jednu prostorovou souřadnici, byl tento způsob zobrazení využíván u systémů s nepohyblivou směrovou anténní charakteristikou. Jedná se tedy o nejstarší typ zobrazení a v dnešní době slouží pouze při opravách radarů pro diagnostiku. [8]



Obr. 7: A-scope zobrazení [10]

2.7.2 B-scope

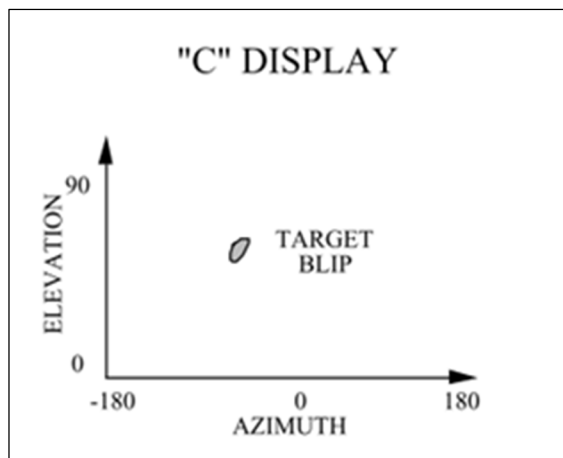
Tato metoda zobrazení se využívá hlavně u palubních radarů stíhacích letadel pro zobrazení přehledu situace. B-scope kombinuje informaci o šikmé vzdálenosti a azimutu objektu. [8]



Obr. 8: B-scope zobrazení [10]

2.7.3 C-scope

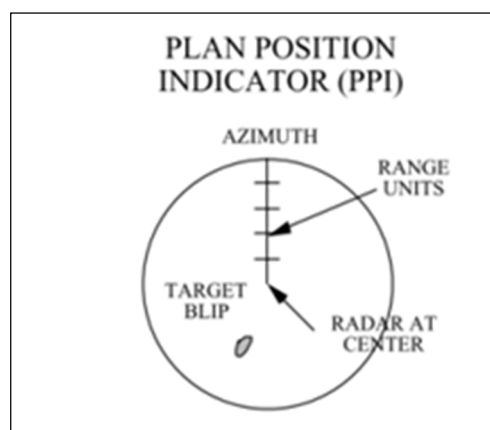
Tady je kombinována informace o azimutu a elevaci cíle a rovněž se používá především u palubních radarů stíhacích letounů pro zobrazení blízké situace. Tento způsob zobrazení je také používán například na průhledových displejích (head-up display). [8]



Obr. 9: C-scope zobrazení [10]

2.7.4 PPI

PPI zobrazení (Plan Position Indicator) je jedním z nejpoužívanějších způsobů zobrazení a je využíváno u pozemních a palubních přehledových radarů s azimutálním pokrytím 360°. Před zobrazením se souřadnice převádějí z polárních do pravoúhlých, jelikož se dnes k zobrazení dat používají rastrové obrazovky. Všechny detekované objekty se ukazují uvnitř kruhové oblasti, jak je ukázáno na obrázku 10. [8]



Obr. 10: PPI zobrazení [10]

2.7.5 Sektorový PPI (výseč)

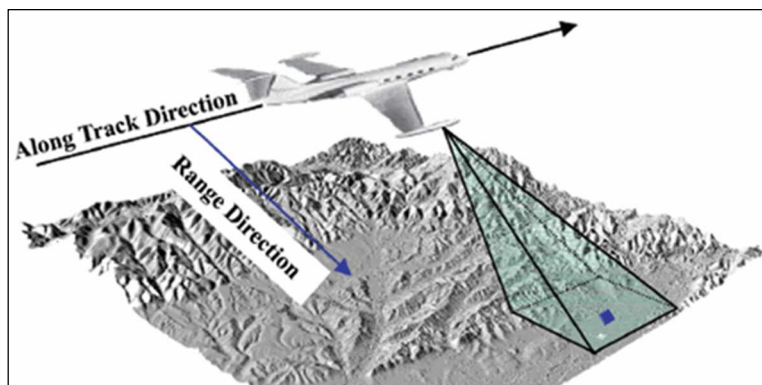
Systemy, které neprohledávají v azimutu kompletní rozsah úhlů, používají právě sektorový PPI. Ve výseči kruhu se již zobrazují pravoúhlé souřadnice, které byly převedeny ze souřadnic polárních. Zobrazovaná data jsou shodná s B-scope zobrazením. [8]

2.8 DALŠÍ MOŽNÉ VYUŽITÍ RADARU

Kromě vojenství a letectví, kde se radary používají při ostraze vzdušného prostoru nebo k řízení a sledování letového provozu apodobně, má radar široké uplatnění například v geodézii (mapování povrchu země), meteorologii, ale také v automobilovém průmyslu jako antikolizní radar nebo v poplachových bezpečnostních systémech a v dalších oblastech.

2.8.1 Geodézie

V této oblasti se hojně používá tzv. radar se syntetickou aperturou (SAR). Touto metodou je sledován a mapován povrch Země i její atmosféra a to buď, z letadel nebo družic. Jedná se o systém zpracování radarového signálu využívající vzájemného pohybu radaru a objektu ke zvýšení rozlišovací schopnosti radaru v příčné souřadnici (tzn. kolmé ke spojnici objektu s radarem). Tento radarový systém umožňuje snímat pás zemského povrchu široký několik kilometrů, jak ve dne, tak v noci a to i za zvýšené oblačnosti. [12], [13]



Obr. 11: Princip SAR radaru [14]



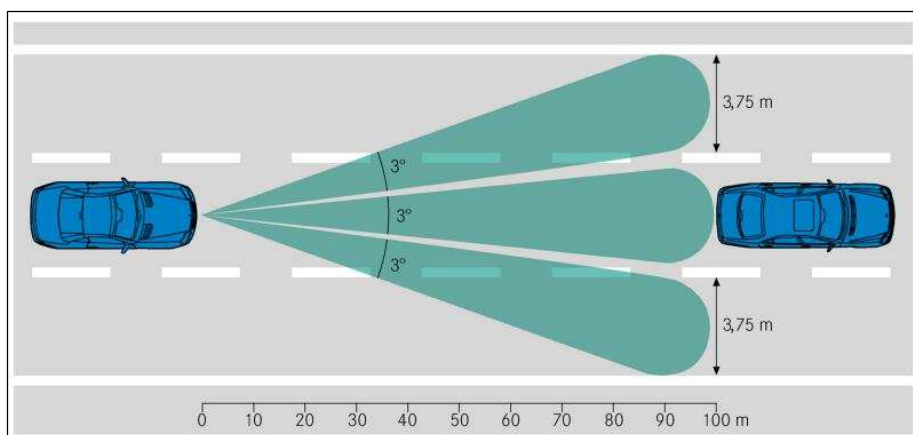
Obr. 12: Snímek území pořízený SAR radarem [15]

2.8.2 Meteorologie

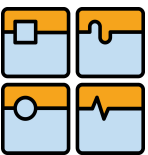
Meteorologické radiolokátory se používají ke zjištění atmosférických srážek a podobných jevů spojených s oblačností do vzdálenosti přibližně 150 km od radaru. Princip funkce tohoto typu radaru je založen na vysílání a detekci signálu odraženého respektive zpětně rozptýleného od vodních kapek a ledových krystalků ve srážkách a oblačnosti. Meteorologická měření se skládají z přibližně 10-20 otáček antény v azimutu s proměnnou elevací a opakují se každých 5 až 15 minut. [16]

2.8.3 Antikolizní radar

V současnosti jsou antikolizní radary čím dál častěji využívány u osobních automobilů. S velmi propracovanými asistenčními systémy se lze setkat například u automobilů Mercedes, v rámci systému Distronic, který kontroluje a udržuje odstup od auta jedoucího před ním. Systém pracuje v rozmezí rychlostí od 30 do 180 km/h až do vzdálenosti 200 m a umožňuje snímat 3 jízdní pruhy v úhlu 9° . Automobil je v přední části vybaven radarovým systémem, který mapuje situaci před vozidlem a posléze předává získané informace řídicí jednotce. Na základě získaných údajů udržuje systém Distronic nastavený časový odstup mezi vozidly. [17], [18]



Obr. 13: Funkce systému Distronic [18]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 25
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3 MAPOVÁNÍ POZEMNÍHO PROSTORU

Dalším typem prostředí pro mapování je pozemní prostor, kde existuje spousta možností jak tuto oblast mapovat. Patří mezi ně například 3D skenery a laserové kamery.

3.1 3D SKENERY

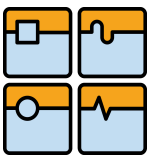
3D skener je třídimensionální měřicí zařízení, které umožňuje převést trojrozměrný fyzický tvar objektu do digitální podoby. Této technologii získávání dat se říká 3D skenování nebo také 3D digitalizace. Princip většiny těchto zařízení je založen na snímání povrchu objektu v diskrétních bodech, z čehož vyplývá, že zdigitalizovaný objekt je v počítači prezentován jako velký počet bodů v prostoru (tzv. mrak bodů). Skenery se od sebe liší hlavně tím, jakým způsobem dochází ke snímání bodů povrchu objektu. V dnešní době jsou nejčastěji využívány optické, laserové a mechanické skenery. [19]

3.2 VÝVOJ 3D SKENERU

První technologie 3D skenování byla použita roku 1960, kdy tehdejší skenery využívaly světla kamery a promítacího zařízení k uskutečnění skenování. Vzhledem k omezenému vybavení trvalo skenování objektů dlouhou dobu a nebylo tak přesné. Od roku 1985 se používaly skenery využívající bílé světlo, laser a stínování pro rychlejší a snadnější skenování. V 90. letech se skenery využívaly také pro skenování postav. Velmi přesné a rychlé snímání detailů předmětu dokázal roku 1994 skener Replica od firmy 3D Scanners. O dva roky později stejná firma vyrobila skener ModelMaker, který se stal prvním skenerem umožňující naskenovat i barvu a tedy vytvářet reálné barevné 3D modely předmětů ve velmi krátkém čase. [20], [21]

3.3 ROZDĚLENÍ 3D SKENERŮ

Základní (obecné) rozdělení 3D skenerů je podle způsobu snímání na kontaktní (dotykové) nebo bezkontaktní (bezdotykové), dále podle použité technologie na mechanické, optické, laserové, destruktivní, ultrazvukové a rentgenové. Mohou se také dělit podle konstrukce na pevné a přenosné.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 26
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3.3.1 Kontaktní skenery

Tento typ skeneru je ve vzájemném kontaktu se snímaným povrchem předmětu. Aby bylo dosaženo přesné digitální podoby objektu, je dobré si na povrchu objektu před začátkem skenování vyznačit body, které se musí nasnímat. Jejich počet se odvíjí od požadované přesnosti a složitosti předmětu. Dotykové skenery se prezentují poměrně nízkou cenou oproti skenerům bezdotykovým. Na druhou stranu nevýhodou je nízká přesnost měření a časová náročnost. Jsou vhodné i pro skenování náročných tvarů. Patří sem například mechanické skenery. [22]

3.3.2 Bezkontaktní skenery

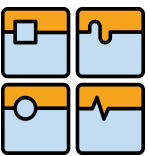
Bezkontaktní skenery ke své činnosti naopak nevyžadují dotyk s povrchem skenovaného objektu. Nejčastěji jsou založeny na optickém nebo laserovém principu. Výhodou těchto skenerů je menší časová náročnost skenování, vytvoření hustší sítě bodů a kvalita výstupních dat. Řadí se tam skenery optické, laserové, ultrazvukové a rentgenové. [22]

3.3.3 Optické skenery

Zde se využívá optického zařízení, které skenuje daný objekt z několika úhlů. Na rozdíl od dotykových skenerů je snímána celá plocha. Poté, kdy je objekt nasnímán ze všech pohledů, jsou získaná data poslána do počítače, kde jsou následně zpracována a vytvoří se digitalizovaný model metodou aproximace. Ten už je pak pouze převeden do různých datových formátů. Výhodou Optických skenerů je vytvoření celého objektu i s texturou. Může sloužit i jako souřadnicové měřicí zařízení, používající se hlavně při výrobě strojírenských součástí. Další funkcí optického skenování je porovnání fyzického objektu s teoretickým CAD modelem a vyhodnocení odchylek tvaru a polohy. Nevýhodou je nevhodnost pro skenování neprůchozích děr. [23], [24]



Obr. 14: Optický skener Atos II [19]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 27
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3.3.4 Laserové skenery

Pracují na stejném principu jako například radar nebo sonar. Skener vyšle laserový paprsek k předmětu, který se od objektu odrazí a vrátí zpět do snímacího zařízení (CCD snímače), kde je vyhodnocen. Doba, která uplynula od vyslání paprsku k jeho návratu, udává informace o poloze bodu, respektive jeho vzdálenosti a úhel pod kterým se paprsek vrátí, udává informace o zakřivení povrchu, potažmo jeho naklonění. Díky těmto dvěma údajům skener zjistí přesnou geometrii skenovaného objektu, ale ne však jeho texturu. Tímto způsobem se naskenuje celý povrch předmětu. Oproti optickým skenerům dokáže rozpoznat neprůchozí otvory. Hlavní výhodou laserových skenerů je jejich vysoká přesnost, mobilita a nenáročnost na obsluhu. Nevýhodou je ovšem vysoká pořizovací cena. Laserové skenery mají využití v praxi například pro letecké snímkování povrchu Země, skenování budov, soch, tunelů apod. [23]



Obr. 15: Laserový skener Romer Absolute Arm [25]

3.3.5 Mechanické skenery

U mechanických skenerů je skenovaný předmět v přímém kontaktu s hrotem skeneru umístěným na mechanickém rameni. V každém kloubu ramene se nachází senzory zaznamenávající polohu a natočení ramene v tomto místě. Údaje z těchto senzorů poté poskytují polohu každého naskenovaného bodu. Výstupem skenování je množství bodů definovaných souřadnicemi x, y, z. Tato metoda je časově náročná jelikož skenování objektu hrotem se provádí ručně a také se nedají zjistit informace o textuře povrchu. Uplatnění najdou především v animátorství, při tvorbě počítačových her nebo také v designovém odvětví, avšak pro mapování prostředí nejsou vhodné, proto bude pozornost zaměřena na zbylé typy 3D skenerů. [23]



Obr. 16: Mechanický skener MicroScribe 3DX [26]

3.3.6 Destruktivní 3D skenery

Destruktivní skener je schopný snímat jak vnější povrch objektu, tak i jeho vnitřní geometrii. Při skenování tímto typem skeneru dochází ke zničení skenovaného předmětu. Před začátkem digitalizace je předmět pokryt speciálním materiálem, který při zpracování naskenovaných snímků způsobí vysoký kontrast mezi součásti a výplňovým materiálem. Takto připravená součást se poté vloží do skenovacího zařízení, kde se připevní k frézovacímu stolu. Samotné skenování začne tehdy, až se odfrézuje velmi tenká vrstva materiálu ze součásti. Použitím optického skeneru se nasnímá veškerý takto nově vzniklý povrch a získané informace se odešlou k dalšímu zpracování. [23]

3.3.7 Rentgenové skenery

Stejně jako u destruktivních skenerů i zde je možné skenovat vnitřní geometrii objektu, avšak pomocí rentgenového záření. V tomto případě, ale nedochází ke zničení předmětu. Rentgenové skenery využívají stejného principu jako klasické rentgeny používané ve zdravotnickém průmyslu, pouze intenzita záření je vyšší. Jsou využívány ke kontrole uzavřených nádob, jako jsou například kotle nebo potrubí. [23]

3.3.8 Ultrazvukové 3D skenery

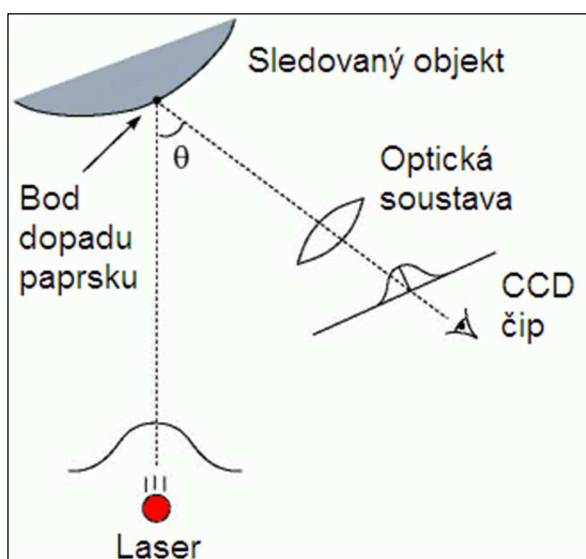
Tento způsob 3D digitalizace funguje na principu bezkontaktního snímání povrchu objektu ultrazvukovou sondou. Jedná se o jedno z cenově nejméně náročných řešení problematiky prostorového snímání povrchů. Skenování je prováděno manuálně ultrazvukovou sondou tvaru pistole s kovovým hrotem, který přikládáme ke skenovanému povrchu, kdy stiskem spouště dojde k vyslání ultrazvukového signálu. Tento signál je pomocí speciální konstrukce s ultrazvukovými čidly dekódován do prostorových souřadnic, které je možno vkládat přímo do CAD systémů nebo do datových souborů. Nevýhodou zařízení je jeho relativně malá přesnost. Tato přesnost je však pro mnoho oblastí zcela dostačující. [23]

3.4 METODY SKENOVÁNÍ

V současnosti se používají převážně tři základní metody zachycující třetí rozměr a to metoda triangulace, metoda měření doby letu světla a optická interferometrie. Většina dnešních skenerů funguje právě na principu světelného spektra. Výhodou těchto metod je vysoká přesnost, rychlost a poměrně nízká cena.

3.4.1 Triangulační metoda

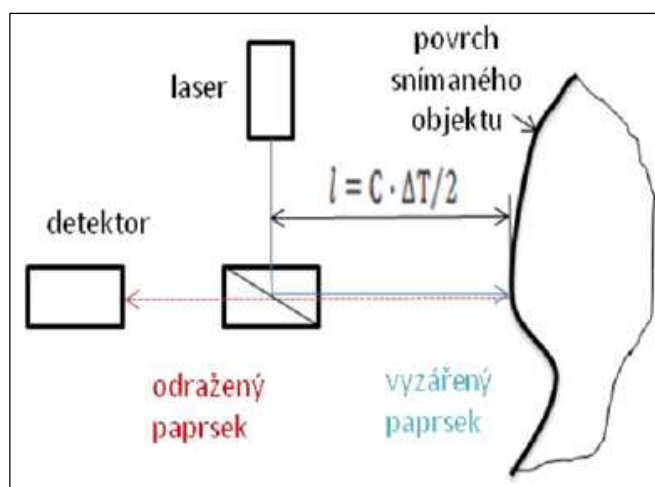
Jedná se o nejpoužívanější metodu, která se pro 3D skenování dělí na dva typy a to aktivní a pasivní. Princip této metody je zobrazen na obr. 17. Skenery využívající tuto metodu vysílají laserový nebo světelný paprsek, který se při dopadu na objekt odrazí a vrátí zpět. Odražený paprsek je zachycen objektivem kamery (CCD snímačem) a dopadá vždy pod jiným úhlem. Na základě tohoto úhlu lze určit třetí souřadnici bodu na skenovaném objektu. [27]



Obr. 17: Princip metody triangulace [27]

3.4.2 Time of flight metoda (TOF)

Zde se měří doba letu paprsku od jeho vyslání světelným zdrojem až po jeho zpětnou detekci čidlem. Jednoduchým výpočtem se poté zjistí vzdálenost předmětu v prostoru od skeneru. Nakonec se už jen vykreslí povrch snímaného objektu na základě jednotlivých vzdáleností. Nevýhodou této metody jsou vysoké nároky na přesnost měření, jelikož rychlost světla je velmi vysoká (cca cca $3 \cdot 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). Proto je vhodná především pro skenování rozměrnějších útvarů, jako jsou budovy, krajina apod. [27]



Obr. 18: Princip metody Time of flight [28]

3.4.3 Interferometrie

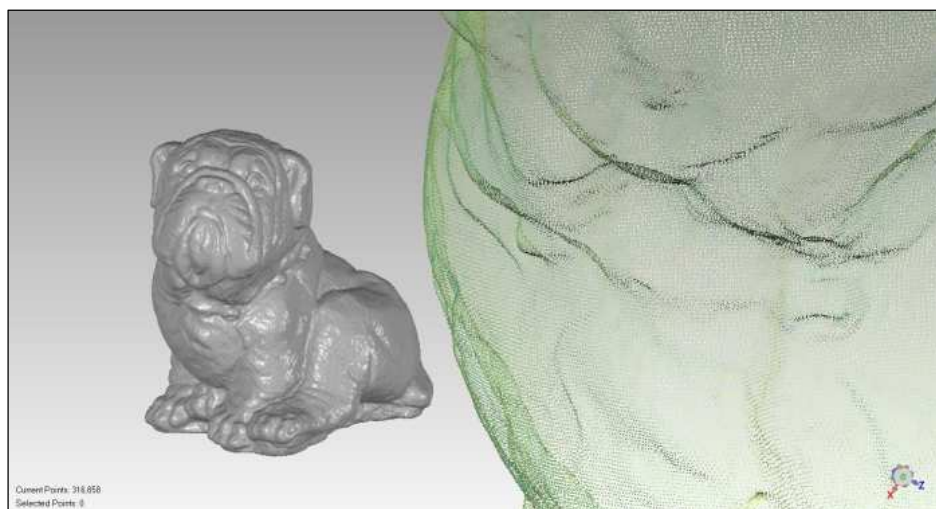
Jedná se o metodu fungující na bázi měření doby letu koherentního záření. Vlnění světelného paprsku je rozděleno na měřené a referenční. Vlnění spolu navzájem interferují a posléze jsou detekována snímačem (fotodioda, CCD čip). Tato metoda je schopna měřit pouze relativní vzdálenosti snímaných bodů. [27]

3.5 VÝSTUPNÍ DATA

Každé skenovací zařízení má předem určené v jakém výstupním formátu může exportovat získané informace. Výsledky skenování jsou reprezentovány nestrukturovanými 3D daty ve formě mračna bodů, nebo polygonové sítě, na jejichž základě může být vytvořen model objektu, který lze převést do CAD systému. Typ výstupních dat je podstatný pro jejich budoucí zpracování v dalších aplikacích.

3.5.1 Mračno bodů

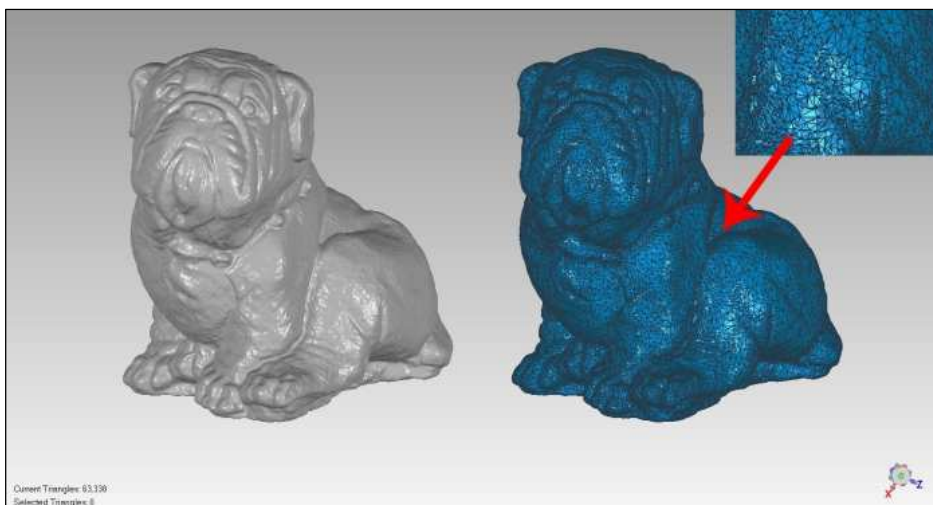
Tento výstupní formát prezentuje 3D objekt pomocí naskenovaných nespojených bodů s polohou-X,Y,Z. Hodnotou navíc pro tyto body mohou být informace o barvě a směru normály. Povrch předmětu není vyjádřen plošně a viditelnost všech bodů tak může pozorovatele mást, proto se vizuálně s tímto formátem hůře pracuje. Provádíme-li řez mračnem bodů, v rovině tohoto řezu se ukazují pouze protnuté body. Mračno bodů se využívá především u skenerů, které skenují rozsáhlou oblast v jeho okolí. Presentace výsledků zpracování nebo samotného mračna bodů je možná v běžných CAD formátech jako jsou .dxf, .igs, .asc, .vtw, .wrl, .obj. [29]



Obr. 19. Mračno bodů [29]

3.5.2 Polygonová síť

V tomto případě jsou data zobrazena pomocí trojúhelníkové sítě. Povrch snímaného modelu tudíž tvoří trojúhelníky, které tak působí skutečným dojmem plošného modelu. Taky proto jsou získaná data mnohem přehlednější pro další úpravy. Většina CAD systémů zvládne načíst tento formát s příponou.STL pouze jako grafiku, avšak některé programy dokážou data zpracovávat do ploch čitelných v CAD aplikacích. Značné uplatnění má v oblasti Rapid prototypingu, jelikož je vhodný pro přímý tisk na veškerých 3D tiskárnách. Polygonová síť je tak nejjednodušším vyjádřením tvaru 3D modelu. [29]



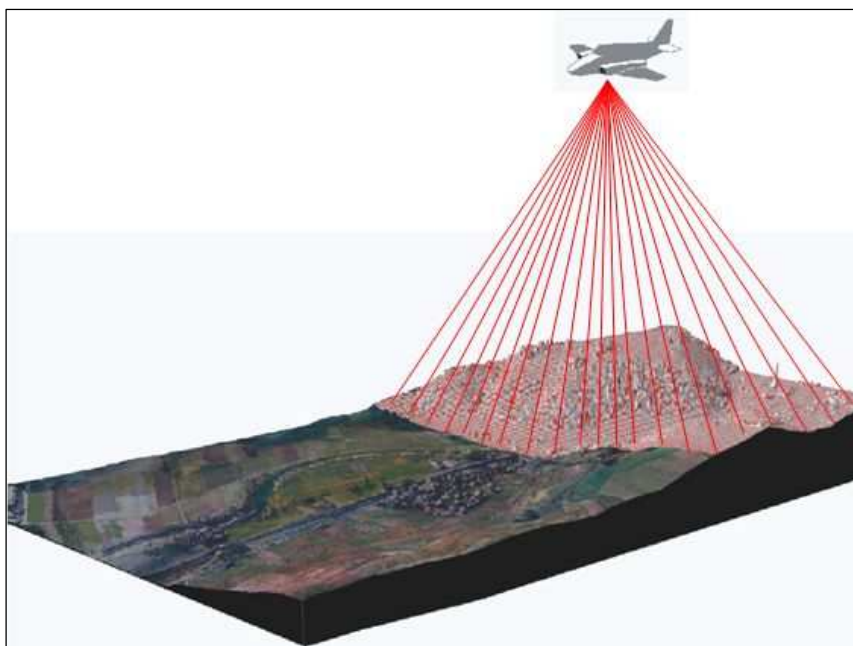
Obr. 20: Polygonová síť [29]

3.6 MODERNÍ VYUŽITÍ 3D SKENOVÁNÍ

Díky dnešním moderním technologiím a metodám je možné skenovat téměř cokoli a kdekoliv, a proto je uplatnění 3D skenerů obrovské a zasahuje do širokého spektra odvětví. 3D skenování najde své využití především ve sféře reverzního inženýrství, také v geodézii, strojírenství, stavebnictví, lékařství nebo v oblasti grafiky, designu, sportu a v dalších oborech lidské činnosti.

3.6.1 Letecké laserové skenování

Pro pořizování prostorových geografických dat se využívá technologie laserového skenování nebo také LIDAR (anglicky light detection and ranging). Své uplatnění nachází zejména pro tvorbu digitálního modelu terénu. Principem je měření vzdálenosti, kterou urazí vyslaný laserový paprsek mezi skenerem a snímaným terénem. Vzdálenost se potom určí podle doby letu paprsku a jeho následného odrazu od terénu nebo jiných útvarů na povrchu. Zároveň se díky navigačnímu systému letadla měří přesná poloha skeneru, směr a rychlost letu. Na konci jsou tedy data vystihující různým způsobem tvar zemského reliéfu, který je díky hustotě nasnímaných bodů velmi podrobný. [30], [31]



Obr. 21: Letecké laserové skenování povrchu [31]



Obr. 22: Digitální model povrchu [32]

3.6.2 Skenování postav (obličeje)

3D skenování má svou dlouhou tradici i v lékařství či v podobných odvětvích, a to zejména při tvorbě 3D modelů, jak postav nebo přímo jen obličejů. Protože zde není použit laserový paprsek, jedná se o velmi bezpečnou metodu, která navíc dokáže zachytit i informaci o textuře a barvě objektu. Princip spočívá v promítání přesně definované mřížky na skenovaný objekt a následného snímání kamerou. Na základě deformace mřížky na skenovaném objektu se pomocí softwaru vypočítá a zrekonstruuje jeho povrch. [33]



Obr. 23: Fáze tvorby 3D modelu zleva: mračno bodů, polygonní síť, model s povrchem, model s texturou, 3D tisk [34]

3.6.3 Kontrola podvozků systému Kerberos

Níže popsaný projekt Kerberos vznikl ve spolupráci pražské vysoké školy ČVUT s vojenskou firmou VOP CZ s.p. Jedná se o systém sloužící pro kontrolu podvozků vozidel, který pomocí 3D laserového skeneru dokáže odhalit jeho tvarové změny. To znamená, že je schopný zjistit a upozornit například na cizí nebezpečné předměty na povrchu podvozku přijíždějícího vozidla. Využívá se technologie měření doby letu laserového paprsku, která umožní pořídit 3D obraz naskenovaného podvozku. V dalším kroku se provádí analýza tohoto 3D obrazu a následné porovnání s referenčním snímkem, který je již uložený v databázi. Snímky jsou zobrazeny na obrazovce a obsluha je schopná automaticky zjistit případné rozdíly. [35]



Obr. 24: Zabudovaný 3D skener Kerberos [35]



Obr. 25: Porovnání naskenovaného obrazu podvozku s obrazem referenčním [35]

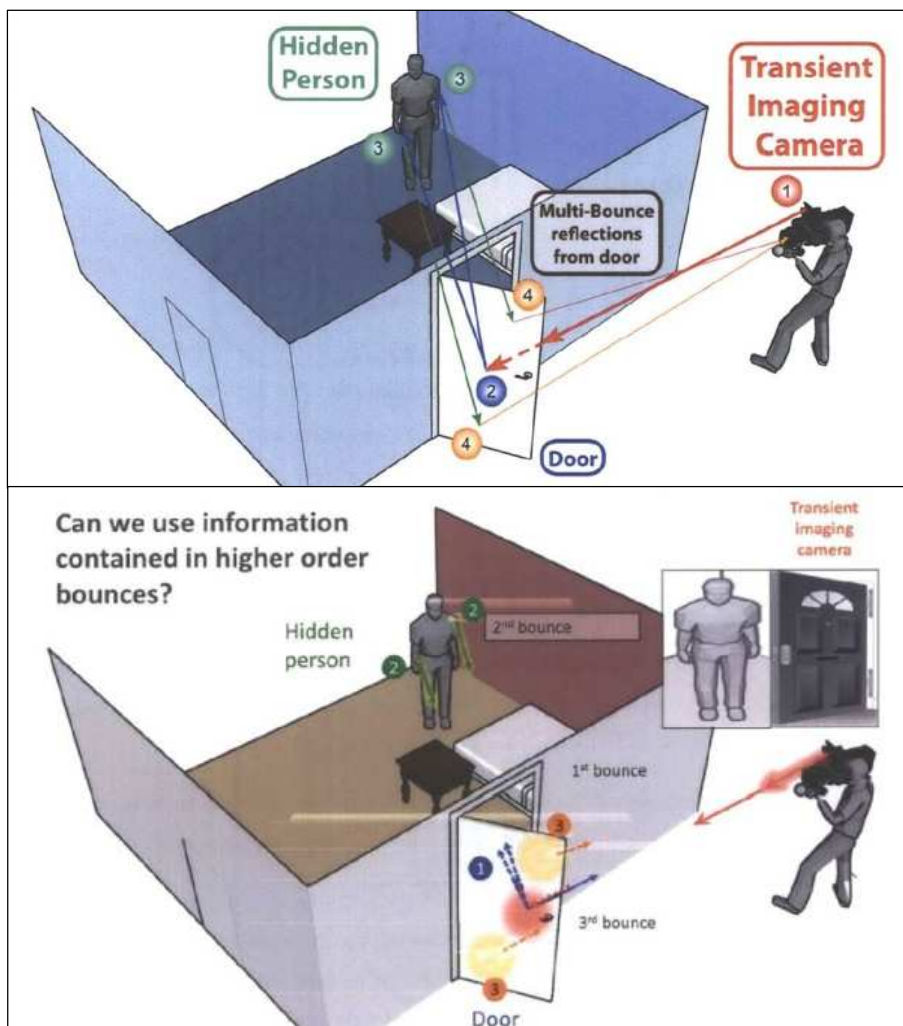
3.6.4 Další využití v praxi

Možností využití a oblastí, kde se dají 3D skenery uplatnit je dnes nepřehledné množství. Jednou z oblastí může být například kontrola kvality ve výrobním procesu nebo také již ve zmiňovaném reverzním inženýrství pro tvorbu 3D modelu jakéhokoliv skutečného objektu. V praxi to může být například tvorba forem, ve sportu úprava tvaru lodí přesně na míru a dalšího sportovního vybavení. Dále naleznou své využití také při kontrole výroby ve strojírenství, skenování stavu kolejnic (pro zjištění jejich opotřebení) a mnoho dalších. Obecně jejich využití pro mapování neznámého prostředí spočívá v tom, že jsou schopny nasnímat objekty v okolí skeneru většinou pomocí optického nebo laserového záření a posléze z naskenovaných dat získat 3D model.

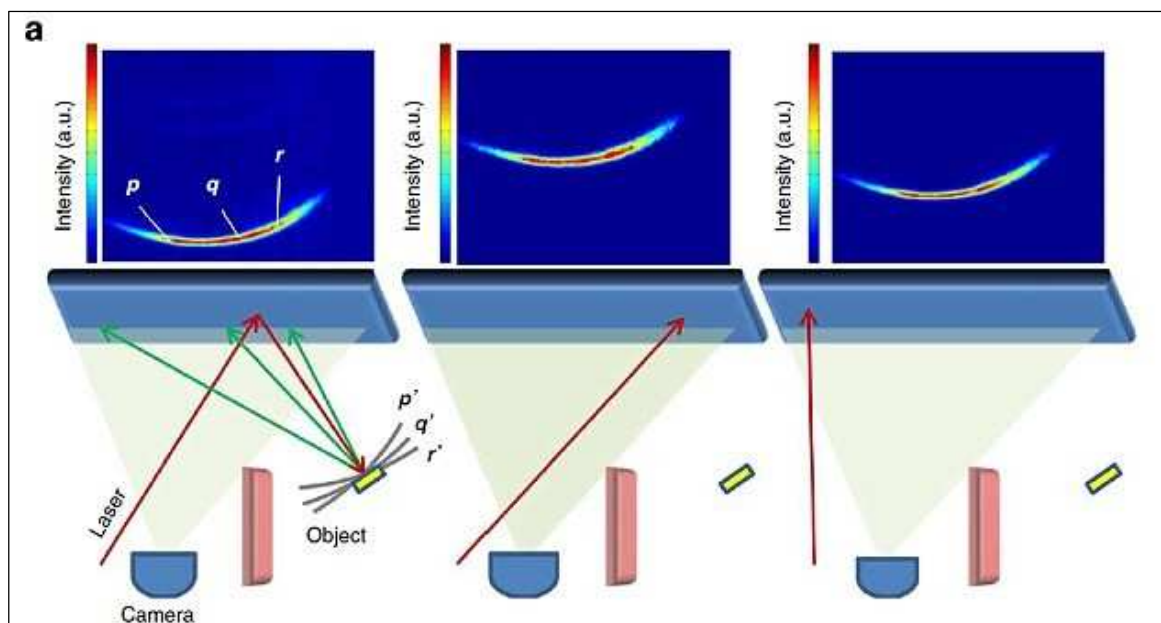
3.7 LASEROVÉ KAMERY BUDOUCNOSTI

Jedná se o technologii založenou na principu využití ultrakrátkých záblesků světla laseru, umožňující vidět i předměty nacházející se třeba za zdí nebo jinou překážkou. Jde tedy o kombinaci speciální kamery a laseru, která je schopná sestavit trojrozměrný obraz objektu, který není přímo v jejím „zorném poli“. Srdcem celého zařízení je femtosekundový laser vysílající velmi krátké laserové impulzy, které se od překážky odrazí a rozptýlí do prostoru. Odražené paprsky dopadnou na zakrytý objekt, od kterého se následně rovněž odrazí a část se jich vrací zpět ke kameře s přijímacím senzorem. Zařízení ovšem nezaznamenává první silně odražené paprsky, ale až ty slabší, přicházející později.

Kamera rovněž dokáže podle zpoždění zjistit vzdálenost, tudíž ví, jak daleko daný paprsek doletěl. Po zpracování mnoha přijmutých paprsků a následné analýze pomocí počítačových algoritmů je kamera schopna zachytit obraz celého prostředí ve třech rozměrech. 3D model se získá pomocí dalších vizualizačních nástrojů. Dosavadní nevýhodou této kamery je její velikost a cena. [36]



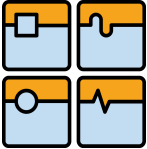
Obr. 26: Princip laserové kamery [36]



Obr. 27: Funkce laserové kamery [37]

3.7.1 Kamera v praxi

Laserové kamery poskytují spousty nových možností pro uplatnění v budoucnosti. Doposud byly testovány a ověřovány pouze v laboratorních podmínkách, nicméně potenciál tohoto zařízení by mohl být hlavně v aplikacích sloužící pro vojenské a záchranářské účely, konkrétně by se mohlo jednat například o robotický průzkum po zemětřesení nebo v hořících domech. Není vyloučena ani možnost použití v automobilech, kde by zařízení mohlo sloužit k upozornění před vjetím do slepé uličky nebo nebezpečím za rohem. [37]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 38
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

4 DALŠÍ MOŽNÉ METODY MAPOVÁNÍ PROSTŘEDÍ

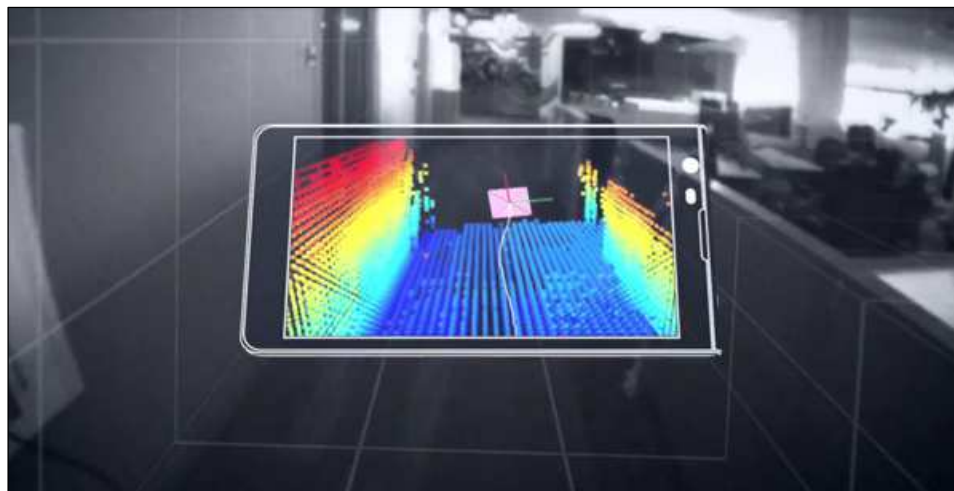
Možností a technologií, kterými lze mapovat okolní prostředí je bezesporu celá řada. Z tohoto důvodu je možné uvést ještě několik dalších technologií. Mezi užitečné, moderní a v dnešní době hojně používané může patřit například technologie používaná ve sportu pro posuzování sporných momentů během utkání, mobilní aplikace pro snímání neznámého prostředí nebo také ovládání her pohybem těla.

4.1 GOOGLE PROJEKT TANGO

Projekt tango od společnosti Google spočívá v mapování okolního prostředí a jeho převedení do 3D mapy v reálném čase. Využívá mobilního telefonu nebo dokonce už i tabletu, který je vybaven kamerou zachycující pohyb, 4MPix fotoaparátem nahrávající prostředí, hloubkovým senzorem pro snímání geometrie okolí a dvěma procesory. Senzory dokáží provést více než 250 tisíc měření každou sekundu. Zařízení pak díky získaným datům snadno vytvoří 3D model svého okolí, přičemž poloha telefonu je aktualizována v reálném čase. Tento telefon má praktické využití například u nevidomých lidí pro snadnější orientaci uvnitř budovy. V budoucnu by mohl najít své uplatnění v herním průmyslu k tvorbě her, ale významnou budoucí úlohu by mohl hrát zejména pro vesmírné účely pro opravárenské roboty. [38], [39]



Obr. 28: Telefon společnosti Google pro 3D mobilní snímání [38]



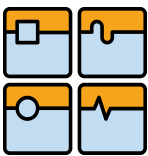
Obr. 29: 3D mapování vnitřních prostor [38]

4.2 KINECT

Jedná se o pohybový ovladač od společnosti Microsoft, který pomocí senzoru sleduje pohyby lidského těla, ať už při hraní her nebo při jiných činnostech. Senzor ozáří daný prostor infračervenými paprsky, které jsou po odrazu od překážky zachyceny a vyhodnoceny. Na rozdíl od klasických 2D kamer dokáže snímat pohyb ve 3D režimu. Uvnitř zařízení se nachází RGB kamera, která snímá obraz scény a rozpoznává obličeje, hloubkový senzor umožňující 3D mapování prostoru a všesměrový mikrofón pro ovládání hlasem. Nechybí samozřejmě software, který přijímané údaje dále zpracovává a vytvoří tak přesnou hloubkovou mapu prostředí. [40], [41]

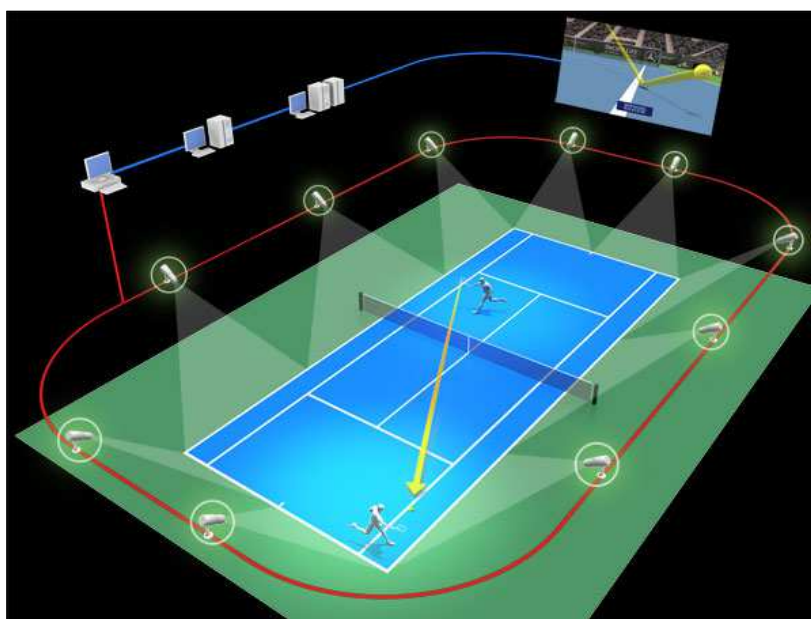


Obr. 30: Pohybový ovladač Kinect [40]

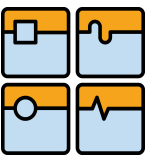
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 40
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

4.3 JESTŘÁBÍ OKO (HAWK EYE)

Technologický systém Jestřábí oko, slouží pro posuzování sporných situací během tenisového nebo kriketového zápasu, kdy není zřejmé přesné místo dopadu míčku. Jeho vynálezcem je Brit Paul Hawkins, odtud tudíž pramení anglický název Hawk eye. Hřiště je obklopeno deseti vysokorychlostními kamerami, které využívají princip triangulace, kdy je míček snímán z několika úhlů. Během pěti sekund jsou následně zachycené obrazy převedeny do 3D grafiky. Nejprve je zkoumán záznam kamery snímající kurt seshora, další kamery pak sledují dopad míčku ze strany nebo z jiných úhlů. Jelikož jsou kamery přesně synchronizované, lze vytvořit třírozměrný záznam letu míčku a určit místo jeho dopadu, díky speciálnímu softwaru, který obrazy porovná a na jejich základě vytvoří 3D animaci scény v osách x, y a z. Ta je nakonec promítnuta na obrazovce. Systém pracuje se spolehlivostí 99,9% a s možnou odchylkou pouze 3,6 mm. Nově byl tento systém zaveden také při fotbalových zápasech, kde byl pojmenován Goal control. [42]



Obr. 31: Ukázka fungování systému Jestřábí oko [43]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 41
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

5 VOLBA VHODNÉ METODY MONITOROVÁNÍ PROSTŘEDÍ PRO AUTONOMNÍ ZAŘÍZENÍ

Při návrhu vhodné metody, pomocí které bude autonomní zařízení mapovat neznámé okolní prostředí, by mělo být zohledněno několik (kritérií) požadavků. Systém by měl být schopen co nejpřesněji detekovat prostředí a případné překážky jakou jsou zdi, schody apod., kterých se může v neznámém prostředí nacházet nespočet. Důležitá je také vysoká citlivost snímání a přesnost, s tím souvisí schopnost v reálném čase přesně určit polohu objektu, díky čemuž se zařízení (systém) může podílet mimo jiné například na záchraně lidských životů. Jelikož by se např. autonomní robot používající tuto metodu (zařízení) měl být schopný dostat téměř kdekoliv a fungovat s ní několik hodin, je zapotřebí, aby systém byl snadno přenosný. S tím souvisí možnost upevnění zařízení například na již zmíněné dálkově ovládané roboty. Zapotřebí jsou také mechanicky velmi odolné a vodotěsné materiály, vhodné i pro aplikaci v nebezpečných podmínkách. Displej zobrazující detekované objekty by měl být čitelný jak ve dne, tak v noci. K detekci objektu je potřebný i patřičný dosah snímání s čímž by vhodný systém neměl mít problém. Navíc by zařízení mělo být schopné snímaná data ukládat do záznamového zařízení například pro pozdější rekonstrukci obrazu snímaného prostředí. Výhodou by bylo i dálkové ovládání a to například pomocí LAN sítě nebo ještě lépe bezdrátově prostřednictvím Wifi. To samozřejmě není ale vždy možné.

5.1 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH METOD

Porovnání bylo provedeno na základě subjektivního hodnocení autora práce dle dostupných a zjištěných informací. Bodová stupnice byla zvolena od 1 do 10, přičemž 1 je nejhorší hodnocení, 10 je nejlepší hodnocení. Významných parametrů pro porovnávání metod je nepřehledné množství, proto byla jako hlavní kritéria definována: přesnost (rozlišení), rychlost snímání, dosah, možnost snímání v horších podmínkách, časová náročnost snímání (nutnost osobní obsluhy), mobilita, nutnost dalšího příslušenství a cena.

	Radar	3D skener
přesnost (rozlišení)	5	10
rychlost snímání	9	6
dosah snímání	10	6
možnost snímání v horších podmínkách	9	5
časová náročnost snímání	9	6
mobilita	4	9
nutnost dalšího příslušenství	5	8
cena	4	8
celkem	55	58

Tabulka 4.1: Porovnání daných metod dle navržených kritérií

Obě představené metody mají své výhody a nevýhody, přičemž srovnání bylo velmi těsné. Přesto se z tabulky 4.1 jako o něco vhodnější volba pro mapování pozemního prostoru jeví 3D skenovací zařízení, které vynikají především díky své přesnosti, jelikož například svazek paprsku vyslaný 3D laserovým skenerem je mnohem užší než u radaru a proto je možné objekt zachytit přesněji a to i objekt malých rozměrů. Další výhodou je nenáročnost na další příslušenství, protože ve většině případů je třeba pouze skenovací zařízení a příslušný software pro zobrazení získaných dat. Obrovskou výhodou je také snadná přenosnost a malé rozměry, právě díky kterým se 3D skenery stávají tak oblíbenými. V neposlední řadě vynikají svou přijatelnou pořizovací cenou. Nicméně pro mapování okolního prostředí by bylo ideální, aby snímací zařízení bylo vybaveno oběma metodami.

5.2 VOLBA RADAROVÉHO SYSTÉMU

Mezi takové (hledané) zařízení se může řadit lokalizační radarový systém ReTWis od firmy Retia a.s. Jedná se o přenosné zařízení sloužící k vyhledávání osob v neznámém prostředí, založený na detekci a vyhodnocování pohybů ve snímaném prostoru.



Obr. 32: Radarové zařízení ReTWis [44]

5.2.1 Princip radaru ReTWis

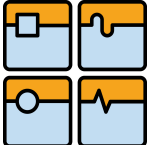
Využívá se krátkých elektromagnetických impulzů, které snadno proniknou například zdí nebo jinou překážkou. Obrazy objektů nacházejících se za překážkou jsou vytvořeny na základě zpracování impulzů odražených od těchto cílů. Výsledný obraz poskytuje uživateli údaje o poloze objektu a je schopný rozlišit, zda se cíl pohybuje či nikoliv. [45]

Přístroj skýtá celou řadu výhod, ať už to je detekce skrz překážky, či možnost použití i za tmy. Avšak menší slabinou systému může být, že je schopný rozpoznat pouze zda se osoba v prostoru nachází nebo ne, tzn. její přibližný tvar. Neumožňuje zachytit přesnou detailní podobu osoby, například pro lepší identifikaci.

5.3 VOLBA 3D SKENERU

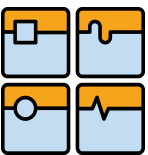
Zlepšením pro výše uvedený systém by mohlo být přidání optických nebo laserových 3D skenerů, které jsou již plně schopné zachytit detaily jako například schody, zátarasy, spadlé větve apod. a vytvořit tak přesný 3D model pro další účely. Pochopitelně by v tomto případě odpadla možnost vidět skrz překážky a také by se cíl musel nacházet ve statické poloze, aby mohl 3D skener zachytit jeho skutečnou podobu.

Nabízí se již zmíněný bezkontaktní optický skener Atos II, který skenuje daný objekt z několika úhlů, přičemž je snímána celá plocha. Po nasnímání objektu ze všech pohledů, jsou získaná data poslána do počítače, kde jsou dále zpracována. Výhodou tedy je vytvoření celého objektu i s texturou a menší časová náročnost skenování.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 44
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

5.4 FUNKCE ČINNOSTI AUTONOMNÍHO ZAŘÍZENÍ

Definovanými požadavky, které jsou kladené na autonomní mobilní zařízení pro mapování neznámého prostředí, jsou tedy rychlost snímání, přesnost, dosah ve skenované oblasti, malé rozměry pro snadnější pohyb v prostoru, odolná konstrukce a další. Zařízení je tedy kombinací jak radaru tak i 3D skeneru, jakožto dvě vhodné metody pro monitorování okolí. Funkce radaru by v tomto případě byla jako detektor osob, které se nachází například zavalené pod sutinami uvnitř budovy. Radar by byl schopný rozpoznat objekt na základě sebemenšího pohybu např. dýchání. 3D skener by poté sloužil k tomu, aby se zařízení mohlo vůbec k hledané osobě dostat. To znamená, že musí být schopný rozpoznat překážky stojící v cestě, aby se jim autonomní mobilní zařízení bylo schopné vyhnout například s využitím principu automatického rozpoznání objektů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 45
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

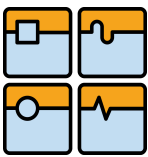
6 ZÁVĚR

V práci byly nejprve popsány dané metody mapování se zaměřením na radary a 3D skenery. Menší část byla také věnována nové technologii laserových kamer, které mají své využití především ve sféře vojenství a záchranných složek. Byl zmíněn historický vývoj těchto metod, kdy se radary hojně využívaly již před 2. světovou válkou, 3D skenery se začaly používat později a to až v 80. letech. Důležitou část tvoří i rozdělení, princip fungování a metody snímání prostředí. U radarů poté i zmínka o zobrazovacích metodách přijatého signálu, u 3D skenerů formát výstupních dat, který je důležitý pro následné další zpracování obrazu. Významnou část zaujímá i praktické využití metod, které je opravdu široké a zasahuje do spousty odvětví lidské činnosti.

Obě metody byly posléze porovnány. Do porovnání nebyly ale zahrnuty laserové kamery, protože pro srovnání nebylo k dispozici dostatek důležitých informací. Tato technologie se zatím testuje a stále ještě rozvíjí, avšak její největší výhoda spočívá v tom, že kamera umožňuje vidět i předmět nacházející se za překážkou. Využití laserových kamer a jejich potenciál je v práci také zmíněn. Porovnání předcházelo zjištění důležitých informací, důležitých také pro sestavení kritérií, na základě kterých se metody daly porovnat. Vhodnější volbou pro mapování pozemního prostoru se podle tabulky 4.1 jeví 3D skenery a to hlavně díky své přesnosti (rozlišení), přenosnosti (malé rozměry) a nesmí se zapomenout na důležitý faktor, kterým je pořizovací cena.

V následující části byly zmíněny další možné metody pro snímání okolí. Patří mezi ně například mobilní snímání Tango od společnosti Google, pohybový ovladač Kinect od Microsoftu snímající pohyby lidského těla nebo také sportovní technologie Jestřábí oko, pro zjištění dráhy letu a přesného místa dopadu míčku. Všechny tyto poměrně nové technologie mají své využití a široké uplatnění do budoucna

Část práce byla také věnována návrhu využití na systému ReTWis, který by byl schopný po doplnění 3D skenery zachytit i přesnou podobu objektů pro vyhnutí se překážkám případně pro lepší identifikaci například ztracených osob.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 46
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] NOVÁK, Andrej a Branislav KANDERA. *Moderní sledovací systémy v letecké dopravě: [vědecká monografie]*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 129 s. ISBN 978-80-7204-699-7.

[2] LIDAR-UK: A brief history of LiDAR [online]. [cit. 2015-03-1]. Dostupné z: <http://www.lidar-uk.com/a-brief-history-of-lidar/>

[3] *Radarová encyklopedie: Z historie radaru* [online]. 2008 [cit. 2015-03-1]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k22.htm#z

[4] *Radartutorial.eu: Historical Overview* [online]. WOLFF, Christian. [cit. 2015-03-1]. Dostupné z: <http://www.radartutorial.eu/04.history/hi04.en.html>

[5] *Radarová encyklopedie: Princip radaru* [online]. 2008 [cit. 2015-03-1]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k23.htm

[6] *Radarová encyklopedie: Rozdělení radarů* [online]. 2008 [cit. 2015-03-1]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k31.htm

[7] *Techblog: Pasivní radary jako strategická zbraň* [online]. 2005 [cit. 2015-03-1]. Dostupné z: <http://www.techblog.cz/technologie/pasivni-radary-jako-strategicka-zbran.html>

[8] BEZOUŠEK, Pavel a Pavel ŠEDIVÝ. *Radarová technika*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, vi, 217 s. ISBN 80-01-03036-9.

[9] *Defence.pk: CCAV revealed j-10's radar* [online]. 2010 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://defence.pk/threads/ccav-revealed-j-10s-radar.54050/page-5>

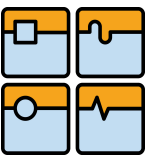
[10] *Keshav: RADAR (Radio Detection and Ranging)* [online]. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://keshavchinna.blogspot.cz/2012/05/radar-radio-detection-and-ranging.html>

[11] *SkyRadar: Radar Principle* [online]. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: http://www.skyradar.com/wp-content/uploads/2014/11/radar_animation_01.gif

[12] *Wikipedia: The free encyclopedia: Synthetic aperture radar* [online]. 2015 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_aperture_radar

[13] *Dálkový průzkum Země (DPZ): Družice ERS2* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.gis.zcu.cz/samostatnestranky/PrehledDruzicDPZ/ERS.htm>

[14] *Courseware: Sensors 3: Interferometric Synthetic Aperture Radar (IFSAR)* [online]. 2007 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: https://courseware.e-education.psu.edu/courses/bootcamp/lo04/images/cg_06.03.01.gif

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 47
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

[15] *Geospatialworld: Virtual reality: New challenges for sensor simulation* [online]. 2007 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: http://geospatialworld.net/images/GI-jul-aug13-26_1.jpg

[16] *CHMI: Meteorologický radiolokátor* [online]. 2010 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_czrad/

[17] *Autolexicon: DISTRONIC* [online]. SAJDL, Jan. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/distronic/>

[18] *JESMB: DISTRONIC (DTR, Abstandsregeltempomat)* [online]. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.jesmb.de/technik.htm>

[19] *Reverse Engineering - trocha teorie: 3D digitalizace* [online]. NAVRÁTIL, Robert. 2000 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/re-teorie/main04.html>

[20] *Artescan: 3D Laser Scanning History* [online]. 2012 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://artescan.net/blog/3-d-laser-scanner-history/>

[21] *A Brief History of 3D Scanning: This is where 3D Scanners came into the picture.* [online]. HOFFMANN, Vasco. 1998 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://vr.isdale.com/3DScanners/3d_scan_history/history.htm

[22] *MMSpektrum: Digitalizace - její princip a rozdělení* [online]. 2004 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni.html>

[23] *Reverse Engineering - trocha teorie: Principy digitalizace* [online]. NAVRÁTIL, Robert. 2000 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main03.html>

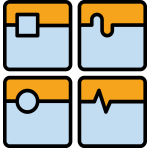
[24] *Evektor: 3D optické skenování a měření* [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://evektor.cz/3d-opticke-skenovani.aspx>

[25] *Hexagon metrology: Vylepšený laserový skener ROMER Absolute Arm zrychluje kontrolu* [online]. 2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.hexagonmetrology.cz/thumbs/originals/NHDF_5761.jpg

[26] *Venus graphics: Revers engineering* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.venusgraphics.com/images/re_ms_bike.jpg

[27] *Elektrorevue: Metody bezkontaktní digitalizace povrchů reálných předmětů* [online]. TIŠNOVSKÝ, Pavel. 2003 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm

[28] MICHALISKO, J. *Využití 3D skenování pro přípravu obrábění odlitků součástí parních turbín.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 58 s. Vedoucí práce diplomové práce Ing. Martin Madaj.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 48
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

[29] *3D scan: Výstupní data ze 3D skenerů* [online]. 2013 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.3d-skenovani.cz/vystupni-data>

[30] *VÚV TGM: Princip leteckého laserového skenování* [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/90/princip-leteckeho-laseroveho-skenovani.html?PHPSESSID=uxbjycatmqkz>

[31] *GIS: Laserové snímkování* [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <https://akela.mendelu.cz/~xfejfar/GIS/prednasky/content/index.html>

[32] *Využití GIS a DPZ pro krajinné inženýrství přednáška č.8: Letecké laserové skenování* [online]. MIKITA, Tomáš. 2014 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vgdp_gis4.pdf

[33] *Skenování ve 3D: Využití 3D skenování v lékařství* [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.skenovanive3d.cz/skenovani/kde-skener-vyuzit/lekarstvi/>

[34] *Duplicity 3D: TVORBA 3D MODELU (FÁZE)* [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.duplicity.cz/3d-skenovani/#3d-skenovani>

[35] *VOP CZ: Katalog KERBEROS 3D VISION* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: http://www.vop.cz/images/file/VOP_CZ_leaflet_KERBEROS%203D%20VISION_ENG.pdf

[36] *ORSEC: Kamera co "vidí" za roh* [online]. VACHTL, Pavel. 2013 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: http://www.orsec.cz/cs/informacni-servis/kamera-co-vidi-za-roh_138-496/

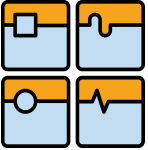
[37] *Magazín: Kamera, která vidí za roh* [online]. 2012 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://magazin.libimseti.cz/pro-muze/8774-kamera-ktera-vidi-za-roh>

[38] *PC tuning: Projet Tango od Google - mapování 3D prostředí pomocí chytrého telefonu* [online]. ŠTĚPÁNEK, Ondřej. 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/component/content/article/1-aktualni-zpravy/29226-projet-tango-od-google-mapovani-3d-prostredi-pomoci-chytreho-telefonu>

[39] *Hybrid: Google a jeho Project Tango - revoluce v počítačovém vidění* [online]. HOŘČÍK, Jan. 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/google-jeho-project-tango-revoluce-v-pocitacovem-videni>

[40] *Code project: Smoothing Kinect Depth Frames in Real-Time* [online]. SANFORD, Karl. 2012 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.codeproject.com/Articles/317974/KinectDepthSmoothing>

[41] *Konstruktér: Pohybový senzor Kinect pomáhá v jaderném průmyslu* [online]. PAGÁČ, Marek. 2015 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.caxmix.cz/2015/04/13/herni-konzole-kinect-pomaha-v-jadernem-prumyslu/>

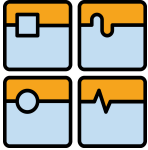
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 49
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

[42] *VTM: Jak spolehlivé je v tenisu Jestřábí oko?* [online]. ČERNÝ, Michal. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/jak-spolehlive-je-v-tenisu-jestrabi-oko>

[43] *Studio sayers: TECHNOLOGY IN SPORTS* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/522861/10327811/1343662618607/hawkeye_blog.jpg?token=fzia7RjHKe%2FjK7bAY6fYeWLM9io%3D

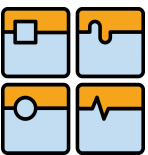
[44] *Pardubický deník: Kufřík, který vidí za zeď, může zachraňovat životy* [online]. SEJKORA, Jiří. 2012 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: http://g.denik.cz/45/4c/ftg_3_retwis_retia_radar_detekce_osob_pce_galerie-980.jpg

[45] *Retia: ReTWis* [online]. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.retwis.cz/cs/retwis>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 50
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

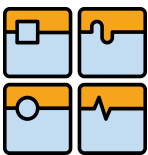
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

2D	Dvojměrný
3D	Trojměrný
PPI	Kruhové zobrazení 2D přehledového radaru
CCD	Snímač s vázanými náboji
CAD	Počítačová podpora výroby
TOF	Metoda měření doby letu světla
SAR	Radar se syntetickou aperturou
RGB	Barevné složky (červená, zelená, modrá)

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 51
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Telemobiloskop [2].....	12
Obr. 2: Princip činnosti radaru [11].....	14
Obr. 3: Schéma činnosti radaru [5].....	15
Obr. 4: Rozložený radar VĚRA [7]	18
Obr. 5: Kónické 3D snímání [9]	20
Obr. 6: Rastrové 3D snímání [9]	20
Obr. 7: A-scope zobrazení [10]	21
Obr. 8: B-scope zobrazení [10]	21
Obr. 9: C-scope zobrazení [10]	22
Obr. 10: PPI zobrazení [10]	22
Obr. 11: Princip SAR radaru [14]	23
Obr. 12: Snímek území pořízený SAR radarem [15]	23
Obr. 13: Funkce systému Distronic [18]	24
Obr. 14: Optický skener Atos II [19]	26
Obr. 15: Laserový skener Romer Absolute Arm [25]	27
Obr. 16: Mechanický skener MicroScribe 3DX [26]	28
Obr. 17: Princip metody triangulace [27]	29
Obr. 18: Princip metody Time of flight [28]	30
Obr. 19: Mračno bodů [29]	31
Obr. 20: Polygonová síť [29]	32
Obr. 21: Letecké laserové skenování povrchu [31]	33
Obr. 22: Digitální model povrchu povrchu [32]	33
Obr. 23: Fáze tvorby 3D modelu zleva: mračno bodů, polygonní síť, model s povrchem, model s texturou, 3D tisk [34]	34
Obr. 24: Zabudovaný 3D skener Kerberos [35]	34
Obr. 25: Porovnání naskenovaného obrazu podvozku s obrazem referenčním [35]	35
Obr. 26: Princip laserové kamery [36]	36
Obr. 27: Funkce laserové kamery [37]	37

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	str. 52
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Obr. 28: Telefon společnosti Google pro 3D mobilní snímání [38]	38
Obr. 29: 3D mapování vnitřních prostor [38]	39
Obr. 30: Pohybový ovladač Kinect [40]	39
Obr. 31: Ukázka fungování systému Jestřábí oko [43]	40
Obr. 32: Radarové zařízení ReTWis [44].....	43

10 SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1: Porovnání daných metod dle navržených kritérií.....	42
---	----