

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2020

Bc. Kristýna Rivolová



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

**MONITOROVÁNÍ POHYBU OSOB V UZAVŘENÉM
PROSTORU**

MONITORING OF PERSONS IN AN ENCLOSED SPACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kristýna Rivilová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Sekora

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Biomedicínské a ekologické inženýrství**

Ústav biomedicínského inženýrství

Studentka: Bc. Kristýna Rivořová

ID: 192503

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Monitorování pohybu osob v uzavřeném prostoru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Prostudujte možnosti monitorování polohy objektů. Seznamte se s principy GSM a WiFi triangulace. 2) Prostudujte možnosti a případná omezení při monitorování v uzavřeném prostoru (např. v budově). Na základě rešerše porovnejte na trhu dostupná řešení. 3) Navrhněte způsob monitorování polohy pacientů v uzavřeném prostoru. Zaměřte se na využití ultrazvuku. 4) Navrhněte blokové schéma ultrazvukového systému v režimu vysílač - přijímač, který by umožňoval určení polohy a identifikaci objektu (osoby) v monitorovaném prostoru. 5) Ověřte možnosti realizace takového návrhu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] CHOWNING, John a David BRISTOW. FM Theory and Applications: By Musicians for Musicians. Tokyo, Japan: Yamaha Music Foundation, 1986. ISBN 4-636-17482-8 COO73.

[2] Esteves, J.S. & Carvalho, Adriano & Couto, Carlos. (2003). Generalized geometric triangulation algorithm for mobile robot absolute self-localization. Industrial Electronics.2003. 1. 346 - 351 vol. 1. 10.1109/ISIE.2003.1267272.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 29.5.2020

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá monitorováním osob v uzavřeném prostoru. Cílem práce je seznámit se s tématem vnitřní lokalizace a poté tvorba vlastního řešení pomocí ultrazvuku. Metoda využívající ultrazvuku by měla eliminovat některé nedostatky současných technologií. Teoretická část obsahuje přehled stávajících metod. Poslední částí je ověření funkčnosti technologie.

KLÍČOVÁ SLOVA

echolokace, lokalizace, ultrazvuk

ABSTRACT

This diploma thesis deals with monitoring of persons in an enclosed space. The goal of this thesis is to get acquainted with the issue of indoor localization and the subsequent creation of own solution using the ultrasound technology. Ultrasound technology should eliminate some deficiency of current technologies. The theoretical part includes the overview of current methods. Last part of the thesis verifies the function of device.

KEYWORDS

echolocation, localization, ultrasound

RIVOLOVÁ, Kristýna. *Monitorování osob v uzavřeném prostoru*. Brno, 2020, 63 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Monitorování osob v uzavřeném prostoru“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autorky

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Sekorovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále děkuji všem, kteří mne ve studiu podporovali.

Obsah

Úvod	11
Teoretická část studentské práce	12
1 Lokalizace	12
1.1 Úvod do tématu a vymezení pojmů	12
1.2 Technologie pro vnější lokalizaci	14
1.2.1 GNSS	16
1.2.2 GPS	16
1.2.3 GALILEO	18
1.2.4 GLONASS	19
1.2.5 BeiDou	19
1.2.6 GSM	20
1.3 Technologie pro vnitřní lokalizaci	22
1.3.1 Bluetooth	22
1.3.2 Lokalizace pomocí WiFi	26
1.3.3 UWB	28
1.3.4 UWB lokalizace - příklad konkrétního využití	29
1.3.5 Sewio Indoor Tracking RTLS	29
1.3.6 Zhodnocení průzkumu technologií pro vnitřní lokalizaci	31
2 Lokalizační techniky	33
2.1 Triangulace	33
2.1.1 Obecný princip triangulace	33
2.1.2 WiFi triangulace	33
2.1.3 Triangulace mobilních vysílačů	34
2.2 Trilaterace a multilaterace	35
2.3 Ostatní metody určení polohy	35
2.3.1 Metoda nejbližšího souseda	35
2.3.2 Dead Reckoning	36
2.3.3 Rozšířená realita	36
2.3.4 Google Indoor Maps	37
Praktická část studentské práce	37
3 Vlastní řešení lokalizačního systému	38
3.1 Základní vlastnosti UZV a inspirace pro jeho využití v řešení	39
3.2 Volba vhodné technologie	39

3.3	Inspirace v systému Around	39
3.4	Návrh vlastního způsobu monitorování polohy pacientů v uzavřeném prostoru	41
3.4.1	Vysílací část	41
3.4.2	Přijímací část	42
3.4.3	Přenosový protokol	43
3.4.4	Vývojový kit Cricket	44
3.4.5	Experimentální ověření	48
4	Diskuze	50
	Závěr	52
	Literatura	53
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	58
	Seznam příloh	59
A	Testování systému Cricket	60
A.1	Testování	60
A.2	Komunikace s řídicí deskou	62
A.3	Další možnosti zapojení vlastního řešení	63

Seznam obrázků

1.1	Ukázka astrolábu[50]	13
1.2	Ukázka stanovení zeměpisné polohy pomocí starších metod[50]	14
1.3	Ukázka přijímaných satelitů pozičních systémů venku (vlevo) a uvnitř budovy (vpravo), kde je přijímán nedostatečný počet satelitů pro výpočet pozice.	15
1.4	Ukázka ilustračního rozmístění satelitů kolem planety Země[12]	15
1.5	Ukázka trasy mezi satelitem a povrchem Země.[53]	17
1.6	Ukázka přesnosti lokalizace s různým počtem satelitů.[12]	18
1.7	Rozdíly mezi topologiemi původního Bluetooth a BLE[39]	24
1.8	Strukturální zastoupení standardu iBeacon[39]	25
1.9	Ukázka kitu Sewio RTLS[43]	30
2.1	Zjištění polohy trilaterací pomocí satelitů. [42]	35
3.1	Princip komunikace při sestavení konferenčního hovoru v systému Around. Blok NBx zde představuje koncové komunikační zařízení.	40
3.2	Blokové schéma vysílače uvažovaného systému	41
3.3	Vztah periody signálu pro dvě rozdílné frekvence odpovídající binární hodnotě 0 nebo 1.	42
3.4	Blokové schéma přijímače uvažovaného systému	43
3.5	Příklad rozmístění přijímačů pro detekci signálu patientského náramku, umístění mikrofونů je vždy nad vstupem do místnosti, tím je zajištěna detekce osoby při průchodu mezi dvěma místnostmi.	44
3.6	Navržený přenosový protokol	44
3.7	Konkrétní obsah zapůjčeného Cricket kitu	45
3.8	Hardware jednotka přijímač/vysílač [48]	46
3.9	MICAz[48]	46
3.10	Příklad rozmístění majáků v prostoru[48], nahoře pohled na celou místnost, dole detail umístění majáku u stropu	47
3.11	Zapojení a zkouška mikrofону verze	48
3.12	Zvolený mikrofonní modul	49
A.1	Senzorová mřížka konkrétního senzoru (nahore) a jeho statistika [48]	60
A.2	Naplněná senzorová mřížka (nahore) a příslušná statistika senzorů [48]	61
A.3	Senzorová mřížka na řídicí desce; mřížka je nenaplněna z důvodu špatné komunikace řídicí desky, která není schopna akvizice dílčích senzorů.	61
A.4	Ukázka komunikace po sériovém portu	62
A.5	Ukázka nastavení příkazovým řádkem	62
A.6	Jeden z testovaných způsobů zapojení při realizaci vlastního řešení	63

Seznam tabulek

1.1	Přehledová tabulka globálních GNSS systémů	20
1.2	Přehledová tabulka tříd Bluetooth dle - dosah	22
1.3	Přehledová tabulka srovnání Bluetooth a BLE	26
1.4	Přehledové srovnání indoorových lokalizačních technologií	32
3.1	Útlum signálu v závislosti na úhlu mikrofону od zdroje (vzdálenost vysílače a přijímače při měření 0,5 m)	49
3.2	Útlum signálu v závislosti na vzdálenosti mikrofону od zdroje (při úhlu mezi vysílačem a přijímačem 0°)	49

Úvod

Téma práce nastiňuje problematiku identifikace polohy objektů v uzavřeném prostoru, respektive lokalizaci těchto objektů uvnitř budov. Práce začíná průzkumem dostupných technologií souvisejících s tématem, dále pokračuje návrhem vlastního řešení a blokovým schématem, které přibližuje představu o realizaci. Cílem práce je zmapovat důležité stávající technologie, poté nalézt vhodnou technologii, či fyzikální podstatu, která by eliminovala nedostatky technologií současně dostupných. Případně aby tato nová technologie alespoň poskytla nějaké benefity oproti stávajícím technologiím.

Lokalizace, ať už osob či objektů, je dnes hojně využívána, a to v různých oblastech průmyslu, dopravě či k osobní potřebě. Lokalizační metody lze dělit na vnitřní a vnější, přičemž vnější lokalizační metody nelze využít pro lokalizaci uvnitř budov. Tento nedostatek kompenzují právě technologie na vnitřní lokalizaci. V některých případech lze vnější lokalizační techniky využít ve vnitřním prostředí, ale výsledky a přesnost nemusí být vyhovující. Mezi venkovní lokalizační technologie a metody patří například GPS, mezi vnitřní zase třeba Bluetooth.

Tato práce je zaměřena na možné využití ultrazvuku, který se, co by mechanické vlnění, přenáší pružným prostředím. Díky tomu má vysoký útlum v pevných látkách, jako jsou např. beton, zdivo či konstrukční prvky budov. Použití ultrazvuku by se potom jevilo jako vhodná metoda pro monitorování v daném ohraničeném prostoru bez prostupu např. zdí do vedlejších místností. Tyto vlastnosti by mohly být vhodné pro eliminování zkreslení signálu, které může nastat například průchodem signálu zdí u WiFi triangulace a podobně. Zdůvodnění volby technologie a bližší specifikace jsou uvedeny dále v textu.

1 Lokalizace

1.1 Úvod do tématu a vymezení pojmů

Monitorování či určování polohy osob či objektů je velmi řešenou a žádanou záležitostí. Historie *potřeby lokalizace* je dlouhá a bohatá. Jako první orientační body mohly sloužit značky v přírodě, stromy, hory, hvězdy a podobně. Potřeba záznamu polohy či významných míst vyvstává z různých důvodů, odvíjí se zvláště od potřeb uživatele či jedince. Potřeby civilizace jsou stále náročnější a tato skutečnost se odráží i ve vývoji nových a stále přesnějších metod. V dnešních dnech je potřeba znát polohu například v dopravě, pro reklamní účely, bezpečnost či prostou orientaci v prostoru.

Samotné lokalizační metody se liší většinou ve fyzikálním základu, který záleží hlavně na místě hledané pozice. Fyzikální princip technologie pak určuje její další vlastnosti, jako je konstrukce zařízení a z té se odvíjí výhody nebo nedostatky technologie pro dané použití. Pozici, ve smyslu polohy na Zemi, je možné popsat souřadnicemi, které představují umístění objektu v prostoru vůči definovanému vztažnému systému. Počátek soustavy (potažmo vztažný systém) se volí dle hlediska a potřeb uživatele. Například v dopravě může být takovým *počátkem*¹ pozice uživatele na planetě Zemi, v případě navigace uvnitř budov může být *počátkem* specifický bod v budově či místnosti (vrátnice, recepce apod.). Pojem lokalizace lze tedy shrnout jakožto proces nalezení polohy hledaného objektu a její zorientování se ve zvoleném referenčním systému. [51, 9, 13, 44]

Termínem *lokalizace* se z pohledu diplomové práce rozumí určení či odhad polohy objektů nebo osob, kterou neznáme.

Potřeba lokalizovat ovšem není pouze aktuální záležitostí. Velký rozmach a rozvoj zažila v první polovině minulého století, kdy se začalo využívat rádiových vln i v této problematice.

Historicky bylo nutné pro orientaci v prostoru a určení polohy využívat pouze významných velkých bodů, později pak prvních jednoduchých řešení jako kompasu či astrolábu (16. stol.), ukázka astrolábu je na obrázku 1.1. Pro orientaci polohy lodí na moři pak sloužily hvězdy či samotná souhvězdí, kde bylo využito jejich vzájemné polohy a geometrického uspořádání, případně Slunce a Měsíc jako přirozené orientační body.

Později astroláb nahradil sextant, kterým bylo možné měřit úhlovou vzdálenost těles, zde nejspíše poprvé dochází k využití principu triangulace, princip měření nastiňuje obrázek 1.2 na straně 14.[51, 9]

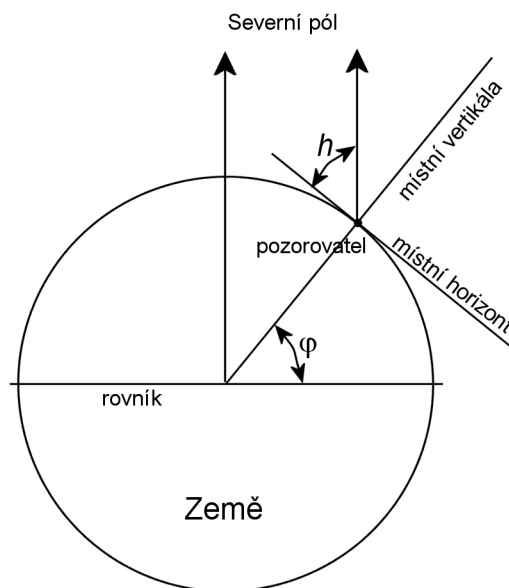
¹Pojmem *počátek* se zde rozumí výchozí vztažný bod daného vztažného systému, jedná se o polohově nebo výškově určený bod stabilizovaný mimo pozorovaný objekt, jehož poloha se nemění.



Obr. 1.1: Ukázka astrolábu[50]

Lokalizační systémy lze obecně dělit na dvě kategorie — systémy pro lokalizaci uvnitř a vně budov, je též možný překryv systémů.

Nejvíce zařízení pracuje na principu rádiových vln, tedy využitím elektromagnetického vlnění. Tento princip je hojně využíván od poloviny minulého století. Obecný princip této metody je založen na měření času, kdy signál jde po trase vysílač – přijímač, respektive rádiové vlny přenášejí data v rozmezí vysílač – přijímač. Podmínkou šíření rádiových vln je prostředí, ve kterém by se mohly šířit bez většího útlumu, například vzduch, vakuum. Čas potřebný k návratu odražené vlny na trase vysílač – přijímač koresponduje se vzdáleností mezi nimi. Parametrem, který je důležitý, je frekvence vln a rychlost jejich šíření v daném prostředí. Podstatné jsou také orientační body — přirozené, nebo umělé. Mezi přirozené orientační body lze uvést například hory, mezi umělé např. radiokomunikační vysílač, pokud jde o venkovní lokalizaci. Právě radiokomunikační vysílač je dobrým referenčním bodem, protože je známa jeho poloha. Co se vnitřní lokalizace týče, referenční body si volí uživatel nebo se odvíjí od dané technologie (vchody, výtahy, schodiště apod.).[41, 9, 24]



Obr. 1.2: Ukázka stanovení zeměpisné polohy pomocí starších metod[50]

1.2 Technologie pro vnější lokalizaci

Existuje nespočet možností, jak lokalizovat objekty či osoby a některé z technologií vhodných primárně pro vnější využití lze využít i pro lokalizaci ve vnitřních prostorech. Tato kapitola nastiňuje tematiku vnější lokalizace pomocí GNSS systémů a jejich využití při vnější či vnitřní lokalizaci. Výsledky při využití těchto systémů pro vnitřní lokalizaci jsou ale spekulabilní a častokrát příliš orientační a informačně nedostatečné. Jejich existence je ovšem nepopíratelná a uvedeny jsou z důvodů informační celistvosti. Obrázek 1.3 dokládá tvrzení o nedostatečnosti informace přehledem síly přijímaných signálů z pozičních satelitů v závislosti na poloze uživatele. Uživatel obdrží poziční informaci, která je závislá na jeho výskytu v místnosti. Aktivní je různý počet satelitů, jejichž signál interaguje s prostředím, kterým je dále ovlivněn například pohlcením či odrazem. Při výskytu uživatele a zařízení v nulové vzdálenosti od okna byl počet aktivních satelitů a přijmutých signálů z nich výrazně vyšší než ve vzdálenosti 1 m od něj. Obrázek 1.3 srovnává sílu přijímaného signálu GNSS systémů na levé straně při nulové vzdálenosti od okna a na pravé straně je potom vzdálenost uživatele a zařízení, které přijímalo signál 1 m od okna.

Potřeba pokrýt větší území pomocí třírozměrných souřadnic vedla k vytvoření satelitních navigačních systémů, pracujících na principu rádiových vln. Referenčním bodem je satelit, jehož poloha není fixně daná, ale je možné přesně určit jeho polohu vůči Zemi v čase. Měří se vzdálenost od neznámého bodu k danému satelitu pomocí zeměpisné šířky, zeměpisné délky a nadmořské výšky.[9]

GPS Info				GPS Info			
#	Fix	Signal ▲	Type	#	Fix	Signal ▲	Type
211	🟢	🟢	BEIDOU	69	🟢	🟢	GLONASS
26	🟢	🟢	GPS	76	🟡	🟡	GLONASS
69	🟢	🟢	GLONASS	5	🟡	🟡	GPS
76	🟢	🟢	GLONASS	10	🟡	🟡	GPS
5	🟢	🟢	GPS	16	🟡	🟡	GPS
27	🟢	🟢	GPS	18	🟡	🟡	GPS
68	🟢	🟢	GLONASS	20	🟡	🟡	GPS
16	🟢	🟢	GPS	21	🟡	🟡	GPS
21	🟢	🟢	GPS	23	🟡	🟡	GPS
213	🟢	🟢	BEIDOU	26	🟡	🟡	GPS
85	🟢	🟢	GLONASS	27	🟡	🟡	GPS
10	🟡	🟡	GPS	29	🟡	🟡	GPS
18	🟡	🟡	GPS	31	🟡	🟡	GPS
20	🟡	🟡	GPS	68	🟡	🟡	GLONASS
23	🟡	🟡	GPS	70	🟡	🟡	GLONASS
29	🟡	🟡	GPS	75	🟡	🟡	GLONASS
31	🟡	🟡	GPS	77	🟡	🟡	GLONASS

Obr. 1.3: Ukázka přijímaných satelitů pozičních systémů venku (vlevo) a uvnitř budovy (vpravo), kde je přijímán nedostatečný počet satelitů pro výpočet pozice.



Obr. 1.4: Ukázka ilustračního rozmístění satelitů kolem planety Země[12]

1.2.1 GNSS

GNSS znamená Global Navigation Satellite System, je to název pro globální polohový systém družic, resp. seskupení satelitů systému, pro konkrétnější představu viz obrázek 1.4. Toto seskupení poskytuje data, která obsahují identifikaci a údaje o poloze a času. Přijímač GNSS data obdrží a dále je využije k určení polohy. Systém obíhá kolem planety Země a pomáhá s určením polohy. Mezi globální GNSS systémy patří evropský Galileo, americký GPS, ruský GLONASS nebo čínský BeiDou.

Při využití satelitních systémů jsou referečními body satelity, vzdálenosti k nim jsou měřeny vyhledáním průsečíků těchto sfér: šířkou, délkou, výškou nebo třemi osami x , y , z . Dráhy satelitů i jejich poloha jsou hlídány v akceptovatelných hranicích z hlediska bezpečnosti pohybu.

Uživatel systému má k dispozici elektronický přijímač rádiových vln, který umí na základě signálů, pocházejících právě z družic, vypočítat polohu uživatele na poměrně velkou přesnost. Jedná se o desítky až jednotky metrů (u GPS cca 2 metry). Nevýhodou takového systému je individuální státní dohled, není tudíž jasné, na kolik by byl systém funkční a stabilní například při mezistátním konfliktu. Další nevýhodou je neunifikovanost systému (např. GPS vs Galileo). Dále ovlivňování získaného signálu atmosférou při průchodu na planetu a integrita. Například nedostatečnou integritou je míněna neschopnost předání informace o správné funkčnosti družic navzájem - může dojít k hluchému místu, či nesprávnému podání informace. Benefitem je pak bezesporu dostupnost signálu při zajištěných bezproblémových mezistátních podmínkách, celosvětové rozšíření a dosah metody.

GNSS je hodnoceno čtyřmi kritérii: přesnost, integrita, kontinuita jakožto schopnost plynulého provozu a dostupnost, která s ní souvisí. Výkon družicového systému lze ještě podpořit regionálními rozšiřovacími systémy pro zvýšení přesnosti informací. Dále jsou podrobněji diskutovány systémy globální. Lokální systémy existují v Japonsku a Indii. [9, 14, 16, 26, 35, 46, 21, 19]

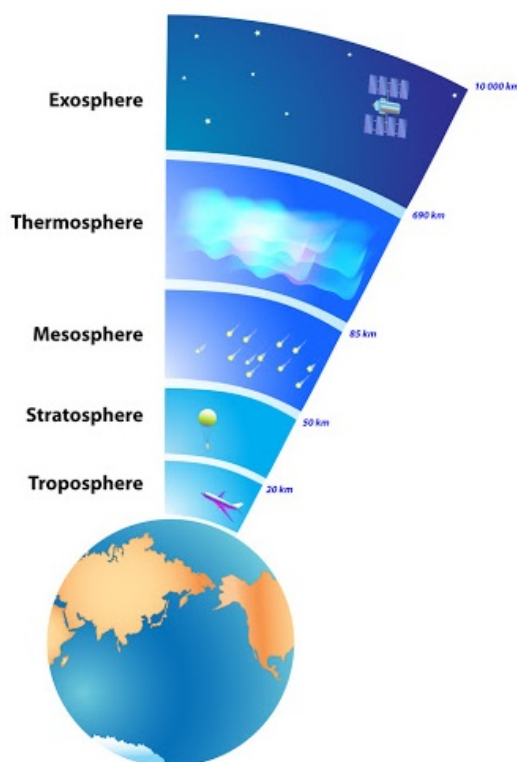
1.2.2 GPS

Global Positioning System (GPS) je navigační polohový systém družic, provozovaný Spojenými státy americkými. Úkolem systému je lokalizovat polohy zařízení na planetě Zemi pomocí systému družic. Tyto družice obíhají kolem planety Země, počítá se jejich poloha a od této známé polohy se měří signál přijímač/vysílač neznámého objektu s poměrně velkou přesností. Družice kontinuálně odesílají informace, které obsahují například údaje o čase odeslání- časové razítko to jest absolutní čas, kdy byl datagram odeslán, souřadnice momentálně aktivní družice, která vysílá, či okolních a podobně. Objekt, který informaci přijímá (to je ten, který hledáme), zjistí rozdíl mezi časem, kdy byla informace odeslána a přijmuta. Pomocí získaného údaje pak

dostaneme informaci o vzdálenosti mezi družicí a přijímačem, díky znalosti rychlosti šíření signálu. Údaj z jedné družice není dostačující, je nutno mít signál nejméně ze 4 družic kdy se možnosti výskytu hledaného objektu zpřesní. Dále se využívá trilaterace, díky které se odhadne hledaná poloha s určitou přesností. Správnost časového údaje je dána atomovými hodinami v družici, což ale nelze implementovat do zařízení přijímačích, tudíž zde je potřeba korekce času dodatečnými metodami, či synchronizací času z družice. [12, 46, 10, 51, 19]

Je ale nutné počítat i s odchylkami, na které mají největší vliv artefakty, jako troposferické zpoždění, ionosferické zpoždění, chyba družicových hodin, meteorologické jevy a podobně, viz obr. 1.5. Obrázek 1.6 demonstruje zásadní rozdíl mezi dostatkem informací z dostatečného počtu satelitů a nedostatečného počtu informací z nedostatečného počtu satelitů – je tedy jasné, že reálně informace pouze ze čtyřech satelitů není dostačující, protože nelze počítat se stoprocentním zapojením všech satelitů viz možné odchylky – zásadní zkreslení informace. Pouze pro upřesnění je třeba uvést, že pokrytí družic z principu šíření signálu není v prostoru kruhové, jak zjednodušuje obr. 1.6, ale kulové, viz obr. 2.1 na straně 35. Obecně se využívají čtyři základní oběžné dráhy, na kterých jsou družice GNSS systémů umístěny. [12, 46, 10, 23, 19]

Systém GPS je po celém světě hojně využíván, ať již v mobilních zařízeních či jiných specifických zařízeních - různé druhy navigací - lodní, automobilové nebo



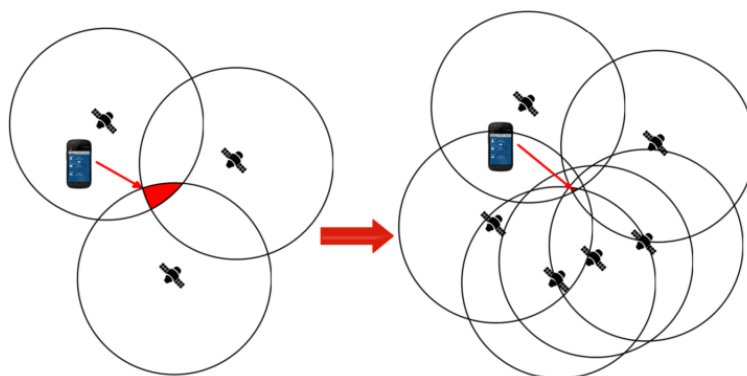
Obr. 1.5: Ukázka trasy mezi satelitem a povrchem Země.[53]

třeba sledovací. Počátek GPS systému sahá od konce 50.- začátku 60. let 20. století, zdroj [9] uvádí konkrétně rok 1973 - den sloučení jiných programů, ze kterých vzešel systém TRANSIT. Počátek užívání lokalizačních systémů u námořnictva Spojených států amerických při sledování vyzbrojených amerických ponorek, kdy došlo k využití satelitů, obíhajících okolo pólů Země a v řádu minut tak bylo možné určit polohu žádaného objektu. Tento systém nesl název TRANSIT, ale neumožňoval kontinuální 24hodinovou lokalizaci. Systém GPS byl plně zpřístupněn veřejnosti v roce 2000. Systém má dle zdroje [38] celkem 31 družic, které aktivně používá, z toho 24 družic je základní segment, minimální počet pro správné fungování. Dalších sedm vylepšuje přesnost měření dodatečnými informacemi. Oběžné dráhy má systém centrické vzhledem k Zemi, umístěné ve výšce cca 20 200 km.[38] Pro běžného uživatele například mobilního telefonu, který GPS systém využívá pouze pasivní cestou - tzn. údaje z družic jsou pouze přijímány. GPS má tři části - kosmickou, kontrolní a uživatelskou. Kontrolní část sestává z pozemní řídicí, monitorovací a vysílací stanice, uživatelská část je tvořena širokým spektrem přijímačů, kosmická část jsou družice na oběžné dráze, což je vyobrazeno na obrázku 1.4. [12, 38, 10, 19]

Kromě amerického navigačního GPS systému ještě existuje evropský navigační systém Galileo, ruský navigační systém GLONASS, čínský BeiDou nebo japonské a indické systémy.

1.2.3 GALILEO

Autonomní navigační satelitní systém, financovaný Evropskou unií, provozovatelem je agentura GSA, která sídlí v Praze. Jedná se o civilní systém s civilní kontrolou. Jeho účelem je poskytování nezávislých navigačních služeb, polohových a časových informací, rozhodně také zlepšení úrovně polohových služeb. Název nese po toskánském vědci Galileu Galileiovi. Systém Galileo má být plně kompatibilní s ostatními



Obr. 1.6: Ukázka přesnosti lokalizace s různým počtem satelitů.[12]

GNSS systémy. Služby, které poskytuje systém v plném provozu - velmi přesné určení polohy, zdroj časového údaje, SAR - search and rescue, bezpečnostní funkce. První dohody o vývoji systému pochází z roku 1999, přičemž první testovací satelit systému byl vynesena na svou dráhu v roce 2005, plně funkční satelity pak v roce 2011. Vynášení satelitů dále pokračovalo, avšak na využití své plné operační schopnosti systém stále čeká. Celkový počet družic je dle dostupných informací plánován dle zdroje [38] na 24 provozních, 6 doplňkových — náhradních. Hlavní výhodou tohoto systému je nezávislost na jiných zařízeních jiných států, tím pádem i zvýšení objektivitu informací. [14, 38, 15, 17, 16, 19]

Galileo lze rovněž využít pro pátrací a záchranné účely(SAR), lokalizace objektu proběhne v řádu deseti minut s přesností okolo 2 km.[15]

1.2.4 GLONASS

Význam zkratky GLONASS je GLObalnaja Navigacionnaja Sistěma. Je to zkratka pojmenovávající ruský rádiový družicový navigační systém pro rychlou navigaci na planetě Zemi, funguje jako pasivní družicový rádiový navigační systém. Existuje od roku 1995, ale většinu času byl přístupný jen pro armádní účely, jeho funkčnost byla omezená a vývoj nedostatečně financovaný, až po přelomu milénia byla práce na jeho vývoji řádně katalyzována. Od roku 2011 systém skýtá globální pokrytí. Řídí jej Úřad ruských vojenských vesmírných sil a je přístupný i pro civilní využití. Celý jeho vývoj provází technické potíže - kupříkladu havárie nosné rakety v roce 2010, která nesla tři družice systému Glonass, které na oběžnou dráhu nedoputovaly. Dělí se stejně jako GPS do třech částí - kosmický, řídicí a uživatelský segment. Systém by měl v současnosti mít 26 satelitů, aktivním stavu 24, zbytek záloha a testovací kus. Satelity se pohybují ve výšce 19 100 km nad povrchem Země. Signál vysílaný družicí systému GLONASS obsahuje informace o stavu a jeho funkci, ostatních satelitech, poloze, rychlosti a zrychlení satelitu, v neposlední řadě pak časové údaje. [46, 20, 19]

1.2.5 BeiDou

Beidou Navigation System (název uváděn v anglickém jazyce pro přehlednost) je dílem Čínské lidové republiky, jde o projekt globálního družicového polohového systému, jehož pokrytí je rozděleno do třech fází. Cílem vzniku je nezávislost na jiných družicových navigačních systémech. Název je ekvivalentem souhvězdí v České republice známé jako Velká medvědice. První družice systému se vyskytla na oběžné dráze v roce 2000, ač počátky jeho vývoje jsou datovány již v roce 1983 dle zdroje [38]. Systém již ve vývojovém režimu vykazoval dobré hodnoty přesnosti, pokud nešlo o hornatý terén, dalším mínusem je a byla vysoká pořizovací cena družic. Výhodou by měla být potřeba menšího počtu družic oproti stávajícím systémům, dále

jiné umístění družic než stávající systémy, což zapříčiňuje jinou problematiku než u stávajících systémů. Z dostupných zdrojů z roku 2019 byl plně zprovozněn pouze ve východní Asii, celosvětové pokrytí a provoz se očekává v roce 2020, blíže nespecifikováno. [46, 26, 19]

Tab. 1.1: Přehledová tabulka globálních GNSS systémů

	GPS	GALILEO
Počet satelitů:	31(24 aktivních)	24(+6)
Počet oběžných drah:	6	3
Výška orbitu:	20 200 km	23 222 km
Doba oběhu:	11h 58min	14h 07min
	GLONASS	BeiDou
Počet satelitů:	24(+2)	21(brzy 27)
Počet oběžných drah:	3	2(3)
Výška orbitu:	19 100 km	různá
Doba oběhu:	11h 15min	12h 53min

Tabulka 1.1 srovnává parametry nejznámějších GNSS systémů. Údaje jsou čerpány z [38]. Dobou oběhu je v tabulce míněna doba oběhu jednoho satelitu kolem planety Země. Údaje o počtu satelitů se v různých zdrojích rozcházejí, což je zapříčiněno především vztažením zdroje k určitému datu, a to ovlivňuje nejednotnost informace.

1.2.6 GSM

GSM je technologie využívaná pro komunikaci mobilních telefonů, kdy stanice, které jsou základnou, měří hodnotu výkonu koncových mobilních zařízení. Jde tedy o jednoduchou a nejméně přesnou formu určení pozice zařízení pomocí telefonních vysílačů BTS - base transceiver station, kdy má každý z vysílačů své unikátní ID. Pakliže zařízení komunikuje, nachází se v kruhovém dosahu vysílače, polohu může dále zpřesnit účast dalších vysílačů. Díky tomuto údaji je tedy možné přibližně odhadnout vzdálenost základna — mobilní telefonické zařízení. Lze zde též využít trilateraci.

GSM je název, který znamená Global System for Mobile communications. Globální systém pro mobilní komunikaci je nejrozšířenější mobilní datovou sítí na světě, slouží především pro hlasové služby. Pro datový přenos není příliš vhodná, spojení je pomalé. Nevýhodou této sítě je velká spotřeba v rámci přenosu dat, vysoká cena

a velké provozní náklady, což jasně nejde vstříc požadavkům pro snímače. Energeticky úspornější jsou bezdrátové sítě a technologie viz další kapitola.[3] První verzi standardu navrhla pracovní skupina Groupe special mobile. Standard GSM používá celosvětově téměř 90 % populace vlastníci tato zařízení. Jde o buňkovou síť, kde se koncová zařízení připojují do sítě u nejbližší buňky (základny). Síť funguje na několika rádiových frekvencích o různé velikosti buněk. Tyto buňky se liší dle oblasti pokrytí. Respektive velikost a výkon buňky se odvíjí od umístění v prostoru.

Pokrytí uvnitř budov podporuje GSM také, zde se přenáší radiový signál z vnějšího odděleného systému antén dovnitř, má však své nedostatky.[18, 3]

1.3 Technologie pro vnitřní lokalizaci

Vnitřní lokalizační technologie umožňují monitorování v uzavřeném prostoru. Kvůli slabé prostupnosti družicového signálu nelze způsob družicové lokalizace efektivně využít uvnitř budov. Níže jsou uvedeny některé možnosti indoorové lokalizace pomocí jiných technologií.[34]

1.3.1 Bluetooth

Bluetooth je standard pro bezdrátovou komunikaci, využívající rádiové prostředí. Bezdrátově přenáší signál na krátké vzdálenosti (WPNA - wireless personal area network). Nabízí možnost připojení k chytrým telefonům či jiným obdobným zařízením. Technologie je dále schopna propojit dvě a více zařízení. Pro komunikaci mezi zařízeními je nutné jejich spárování, čímž dojde k vytvoření piconetu. Piconet je druh místní bezdrátové sítě. Dosah zařízení je rozdělen do několika tříd dle tabulky 1.2.

Systém Bluetooth je znám od roku 1994, název po dánském králi Haraldmu Bluetooth z desátého století.

Bluetooth využívá kmitočtové pásmo v oblasti 2,4 GHz. Kmitočtové pásmo se dělí na různé úseky kvůli případnému vzájemnému rušení technologií, pracujících na podobném fyzikálním principu, ve stejném frekvenčním pásmu. Jedná se o mikrovlny, kde zdrojem vzájemného rušení může být například mikrovlnná trouba nebo WiFi. [32, 7]

Bluetooth a lokalizace

Bluetooth trilaterace je v mnoha ohledech podobná WiFi trilateraci, pohybují se také ve stejném pásmu. Starší verze lokalizování pomocí Bluetooth fungovaly na principu komunikace hlavního uzlu a uzlů vedlejších, nicméně šlo o poměrně zdlouhavý proces. Tento problém řeší BLE viz dále. Mezi tyto starší verze Bluetooth patří 1, 2.1 a 3.

Tab. 1.2: Přehledová tabulka tříd Bluetooth - dosah

Třída BT	Výkon (mW)	Dosah (m)
Class 1	100	100
Class 2	2,5	50
Class 3	1	10

Indoor lokalizace pomocí Bluetooth umožňuje bezdrátové sledování polohy a pohybu uvnitř budovy. Omezení se projeví při střední a větší vzdálenosti. Technologie

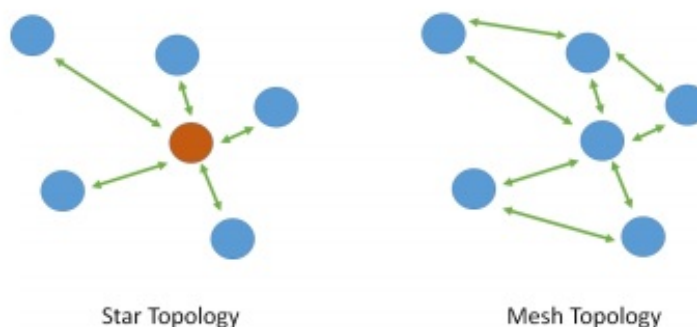
je určena pro komunikaci na velmi krátké vzdálenosti, dosah v řádu desítek metrů při přímé viditelnosti mezi zařízeními. Při užití technologie v uzavřených vnitřních prostorech je dosah limitován okolními faktory. Mezi výrazné plusy patří minimalizace nekompatibility rozhraní různých typů zařízení, dále využitelnost implementace technologie. Standard byl navržen se záměrem umožnění komunikace takřka libovolných zařízení mezi sebou. Bluetooth není možné z finančních a jiných důvodů implementovat do každého zařízení, proto existují takzvané profily. Díky profilům jsou sdružené dané specifikace a podrobnosti pro konkrétní služby, dojde-li tedy ke spárování zařízení, zařízení si vymění mimo jiné informaci, které profily podporují. Další podstatnou informací je Bluetooth core, jež je společným standardem pro všechna zařízení pracujících s Bluetooth. Existuje několik verzí Bluetooth, kdy v každé nové verzi přichází zlepšení například přenosové rychlosti nebo způsobu komunikace. Dále je Bluetooth osvědčené v kontinuálním přenosu dat. [39, 32, 7, 28]

Princip Bluetooth

Radiostanice s modulem Bluetooth, kde zájmový prostor je vybaven pevnými vysílači, se radiostanice připojují k bodům a následně je jejich poloha zobrazována na mapě nebo plánu. Lze využít například při orientaci ve velkých budovách jako je nákupní centrum nebo letiště.

BLE - Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy je název komunikačního standardu, který nachází využití u zařízení, kde je požadavkem velmi malá spotřeba, bezdrátový přenos informací a připojení k chytrým telefonům či jiným zařízením a nevyhovuje klasický standard Bluetooth. Minimální spotřeba je zařízena prostřednictvím většinového režimu spánku, tedy vyžaduje přenos malého objemu dat v pravidelných intervalech a mimo tyto intervaly panuje klidový režim, čímž dochází k úspoře energie. Pro navigaci malý objem dat stačí, tím pádem je verze Bluetooth 4 alias BLE vhodnou volbou. Dalším plusem pro BLE je bezesporu schopnost tvořit mesh síť viz obrázek 1.7, kdy jsou spolu zařízení schopna komunikovat i když spolu nejsou přímo spojena. Aktivizace zařízení je omezena pouze na nezbytně nutnou dobu aktivní komunikace, komunikace probíhá v časovém úseku až několik milisekund. Odběr proudu se odvíjí od frekvence požadavků - tedy doby, po kterou musí být zařízení aktivní, proto není vhodné pro přenos větších dat, je tak ale vhodné pro snímače. Aktivní komunikace trvá po velmi krátký časový úsek v řádu několika milisekund, odběr proudu pak závisí na frekvenci požadavků komunikace. Teoretickou nevýhodou BLE je již zmíněný malý přenos dat. Vhodné tedy obzvláště pro snímače.[3, 7, 28]



Obr. 1.7: Rozdíly mezi topologiemi původního Bluetooth a BLE[39]

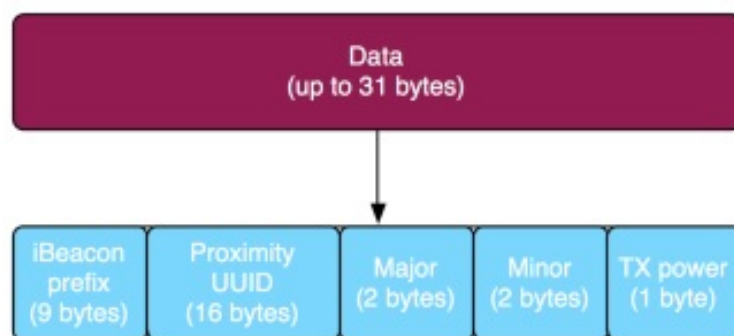
Srovnání klasického Bluetooth a BLE

Bluetooth je komunikační standard, vyhovující pro přenos souvislého proudu dat či hlasových služeb, pomáhá omezit propojení pomocí kabelů. BLE je vhodný pro oblasti, kde už klasické Bluetooth nedostačuje popřípadě dané situaci nevyhovuje. Vytvořen byl zvláště pro jednoduché snímače a zařízení napájené baterií k chytrým telefonům, dálková ovládání či chytré hodinky. BLE od předchozích klasických verzí Bluetooth není zpětně kompatibilní.

V obou případech komunikace probíhá bezdrátově a také na principu odhadu vzdálenosti přístroje od vysílače - dle síly signálu. Rozdíly s běžným standardem Bluetooth jsou již v samotném přenosu dat. Běžný standard Bluetooth odesílá informace kontinuálně, BLE je pak vhodný v oblastech využití, kde není kontinuální přenos dat požadován. Jsou to senzory, zařízení napájená malou baterií, komunikační brány a podobně. Bluetooth i BLE využívají topologii jednoho řídicího zařízení a množství řízených zařízení, leč topologie sítě je rozdílná. Toto je omezeno použitou implementací a velikostí paměti řízené jednotky. Vzájemná kompatibilita obou standardů není samozřejmá kvůli rozdílnosti provozu. [3]

Ukázka konkrétního systému - BLE - Bluetooth Low Energy

BLE nachází uplatnění například ve zdravotnictví, technice budov či průmyslu. Co se zdravotnictví týče, jde o záznam patientských údajů jako je například rozbočovač patientského lůžka. Pro větší objem dat se ale lépe hodí klasický standard Bluetooth. Dále snímače pro udržování správné teploty při skladování krve pro transfúze. Co se průmyslu týče, jde opět zvláště o snímače pro sběr dat.



Obr. 1.8: Strukturální zastoupení standardu iBeacon[39]

BLE Smart Beacons - iBeacon

Nejvíce lokalizaci pomocí Bluetooth proslavila společnost Apple uvedením iBeacon v roce 2013. Jde o informační technologii, zaměřenou na indoorové prostředí. Jako místo využití je uvažováno kupříkladu nákupní centrum. Technologie totiž umožňuje oslovení potenciálních zákazníků, navigaci po nákupním centru a podobně.

Beacon je „maják“, vysílající informace mobilním zařízením — reálně jde o senzor napájený knoflíkovou baterií, vysílající webový signál. Dále mají tyto majáky možnost rozesílat pravidelné krátké zprávy - broadcastové zprávy, které může zachytit jakékoliv Bluetooth zařízení bez potřeby předchozího párování. Velikost těchto zpráv je limitována na 31 bajtů, další informace jsou pak přiřazeny softwarem čtoucím příchozí signál. Strukturu iBeacon standardu sloužícího pouze pro popis struktury dat je možné vidět na obrázku 1.8. Vysílače mají nízkou spotřebu a životnost jeden měsíc až několik let. Zařízení vysílá v krátkém časovém intervalu signál, který je zpracován v mobilním zařízení a dle zvolené funkce může například sloužit k navigaci v indoorovém prostředí.[2, 1, 36]

Nedostatek je právě ve využití síly signálu k odhadu vzdálenosti, což je to nepřesné, nelze zaručit, zda pokles signálu značí prodloužení vzdálenosti, selhání techniky nebo cokoli jiného. Přístroj podává pouze informaci o dosažitelnosti a blízkosti, nikoli přesnou specifikaci o poloze objektu. U některých společností se daří tuto záležitost poměrně úspěšně překonávat, nicméně ne zcela vyřešit. Chyba může nastat i mnohem snadněji – například je-li v cestě architektonický prvek, signál může poklesnout právě díky němu. Tento problém lze eliminovat tím, že nejprve pomocí snímačů signál proměříme z různých míst, vzdálenost po vzdálenosti po celém objektu, získáme tak databázi naměřených údajů, s kterou můžeme vyhodnotit aktuální výsledek a zjistit tak ,kde se naměřený údaj v databázi nachází a zda není zkreslen. Poté vyhodnotíme nejlepší shodu, kdy bychom měli obdržet aktuální pozici. Předchozím mapováním prostoru lze situaci zdárně vyřešit, což je opět nevýhodou právě

Tab. 1.3: Přehledová tabulka srovnání Bluetooth a BLE

	Bluetooth	BLE
Dosah	10 m	50 m
Spotřeba	dle aplikace	1 až 50 % spotřeby BT
Skutečná přenosová rychlost	0,7-2,1 Mb/s	0,27 Mb/s
Přenos hlasu	ano	ne

pro nutnost řešení mapování dopředu. [39, 3]

Zhodnocení

BLE je vhodný komunikační standard pro využití, kde je požadavkem velmi malá energetická spotřeba, souběžně připojení k dalšímu či dalším zařízením a krátká aktivní doba. Příkladem takového zařízení je senzor. [3]

Výhody Mezi výhody BLE patří nízká pořizovací cena, malá velikost rozměrů, žádoucí například pro snadnou manipulaci. Dále jednoduchost implementace, nízký vysílací výkon, bezpečnost, energetická úspora. Výhoda ohledně užití pásma 2,4 GHz je dobré šíření v běžném prostředí.[7]

Rozdíl mezi klasickým Bluetooth a BLE je nižší úspora energie, pracuje jinak ve stejném frekvenčním pásmu, dále velikostí přenášených dat viz tab. 1.3 .

Nevýhody Mezi nevýhody klasického Bluetooth jistě patří rušení v jeho přenosovém pásmu. Dochází k němu díky několika faktorům jimiž je přirozené slábnutí signálu s rostoucí vzdáleností, překážky v prostoru způsobující jeho pokles. Zařízení může též negativně ovlivnit rotace v rámci šíření vln. Dále jde o multipath efekt, což je jev kdy se signál dostane k přijímači nikoli pouze přímou cestou , ale také odrazy což může ovlivnit výsledný efekt.Mezi další nevýhody lze zařadit závislost na síle signálu, předchozí mapování prostoru. Nevýhodou ohledně pásma provozu je překryv či rušení s jinými přenosovými pásmy, například ze strany WiFi či mikrovlnné trouby.[7]

Mezi další radiofrekvenční metody, které se mohou v určitých případech využívat i pro lokalizaci, jsou např. ZigBee nebo NFC.[7]

1.3.2 Lokalizace pomocí WiFi

Bezdrátová technologie využívající pro komunikaci bezlicenční frekvenční pásmo, pracuje běžně v pásmu kolem 2,4 GHz.(Je možné i jiné pásmo.) Technologie umož-

ňuje bezdrátový přenos internetu skrze access points – přístupové body. Tento standard, jako každý jiný, pracuje na svém frekvenčním rozmezí, které se dále dělí na kanály (v případě 2,4 GHz je jich 13). Některé jsou přenosové, některé pracovní, operační. Pro kvalitní signál se nejlépe uplatní kanály, které se nepřekrývají, z čehož plynou možné nevýhody WiFi přenosu, kde může vzájemným překryvem dojít k rušení.

WiFi je jednou z nejrozšířenějších technologií pro vnitřní lokalizaci v současnosti, před příchodem iBeacon se využívala výhradně tato technologie. S Bluetooth má podobnost v měření síly signálu, frekvenčním pásmu a z toho plynoucí obdobné nevýhody. Lokalizace pomocí WiFi je dnes běžným prostředkem, některé firmy jako například Google vlastní databáze MAC adres jednotlivých přístupových bodů a k nim patřící zeměpisné souřadnice. Systém funguje prostě: pokud má zařízení umožněn přístup k WiFi lze prostřednictvím MAC adresy zařízení, které je v dosahu, odeslat dotaz díky internetu, dále je možné polohu upřesnit díky měření síly signálu. Před samotným měřením síly signálu v budově je nutné vytvořit mapu budovy s přístupovými body včetně jejich pozice. Zde je dobré vzít v potaz zdi, velké skříně, výtahy a podobně, protože by mohly zkreslovat či rušit signál. Další fází je samotná lokalizace a výpočet žádané polohy. Lze využít ohledně WiFi i jiné metody, než jen měření síly signálu. Měří se síla signálu přijímaného od jednotlivých přístupových, předem zvolených bodů. Síla signálu se vzdáleností klesá, proto ji lze využít pro měření vzdálenosti od přístupových bodů. Vzdálenost se vypočítá díky trilateraci či triangulaci přístupových bodů, čímž lze chybovost v dané oblasti do jisté míry ovlivnit. Při nejlepším je ale taková přesnost v řádu místností, což lze teoreticky zpřesnit zvýšením počtu přístupových bodů, nicméně jde o finanční a energetickou zátěž. [44, 40]

WiFi signál má inherentní strukturu a úzké pásmo. Problém přesné lokalizace nastává kvůli měření přesné amplitudy signálu při rušení, protože rušení v kombinaci s kolísáním signálu ovlivní nežádoucím způsobem zkreslení mezi časovým a amplitudovým údajem. [39]

Zhodnocení

Dostupnost, rozšířenost a bezlicenční užívání je a bude největším benefitem.

Výhody Tuto technologii lze kombinovat s BLE, dalším pozitivem je pak velké rozšíření, ať už v budovách veřejných či domácnostech. Dále se mezi pozitiva počítá jednoduchost technologie.

Nejvýhody V pásmu kolem 2,4 GHz je velká rozšířenost využitelnosti v domácnostech, protože do tohoto pásma spadají všechny WiFi sítě v okolí, přístroje pracující

na této frekvenci, bezdrátové mikrofony, chůvičky nebo například zařízení pracující nebo využívající technologii Bluetooth, což může omezovat požadovaný WiFi přenos, protože dojde k rušení. Měření síly signálu může být zkresleno architektonickými prvky z rozličných materiálů rozličným způsobem, jde o takzvaný multipath efekt. Sílu signálu tedy ovlivňuje prostředí v negativním slova smyslu, což ovlivňuje přesnost metody.[40]

1.3.3 UWB

UWB (Ultra Wide Band) je název standardu, pro něž je charakteristickým znakem velká šířka pásma. Je to bezdrátová technologie, jež je vhodná pro přenos větších dat na krátkou vzdálenost. Komunikace pomocí UWB technologie je založena na krátkých pulsech, nikoli na harmonickém signálu, kdy tyto pulsy samy o sobě nejsou použitelné pro přenos informace, je třeba vytvořit jejich sled a modulovat jej signálem dobrým k přenosu. Způsobů modulace existuje více, například Pulse Amplitude Modulation, ortogonální modulace, On-Off a podobně. Díky pulsnímu přenosu a nízkým výkonovým úrovním je obtížná detekovatelnost UWB signálu, což může být výhodou při případné potřebě utajení.

Jelikož puls zabírá velkou šíři frekvenčního pásma, jeho vzestupná část je velmi strmá, což umožňuje přijímači velmi přesně měřit příchod signálu, pulsy jsou dále velmi úzké a trvají velice krátký čas, běžně ne více, než dvě nanosekundy. Šířka pásma se může jevit jako problematický aspekt v některých případech vůči ostatním technologiím, situaci lze ale ošetřit vhodným způsobem - například omezením UWB oblasti, kde se vyskytují mobilní systémy a GPS, případně použít jinou frekvenci — přeskočit zatíženou oblast. [39, 49, 43]

Zhodnocení

UWB je standardem pro přenos krátkých širokopásmových signálů, kde jde o měření vzdálenosti mezi dvěma zařízeními. Technologie je bezdrátová, fungující na krátký dosah za využití velké části frekvenčního spektra. Dřívější využití zvláště v radarovém zobrazování, nyní sběr dat z cílových senzorů, lokalizace a sledovací využitelnost. Vysílání se uskutečňuje s frekvenční šířkou převyšující 500 MHz. Systém může pracovat buď s nízkou nebo vysokou frekvencí pulzů, každá z nich je vhodná na jiné využití. Hlavní rozdíl oproti výše uvedeným technologiím spočívá v tom, že již nejde o měření síly signálu. [39, 49, 43]

Výhody

Větší přesnost měření než Bluetooth a WiFi, dále odolnost vůči vnějšímu rušení díky velmi krátké době trvání impulsu a využití velké části daného spektra. Přesnost technologie je bezesporu jednou z velkých výhod, stejně jako malá energetická spotřeba.

Nevýhody

Vysílací a přijímací antény UWB signálu mohou zkreslit tvar impulsu - čím větší počet UWB vysílačů, tím větší zátěž a náchylnost k rušení.

1.3.4 UWB lokalizace - příklad konkrétního využití

Možnost radiofrekvenční lokalizace nabízí společnost Sewio. Tato firma byla nejprve projektem a nápadem absolventů Vysokého učení technického v Brně. Firma nabízí systém pro lokalizaci v reálném čase za využití ultra-širokopásmové rádiové technologie. Technologie je založena na měření vzdálenosti dvou objektů, kdy je jeden umístěn staticky a druhý objekt je umístěn na monitorovaném předmětu zájmu. Výhody: stabilita, přesnost až na čtyřicet centimetrů (každá jednotka musí být od sebe maximálně 40 cm, statická jednotka nesmí být dál), zařízení neovlivňují světelné podmínky, teplota ani počasí. Technologie je ve zdroji [43] nazývána RTLS. UWB technologie je bezdrátová, což je další výhodou, ale to i předchozí uvedené jako WiFi a Bluetooth, takže bezdrátovost je výhodou všem třem technologiím společnou. [39]

1.3.5 Sewio Indoor Tracking RTLS

Sewio Networks s.r.o. je výrobcem real-time lokalizačního systému *Indoor tracking RTLS*², který umožňuje sledování pohybu ve vnitřních prostorech v reálném čase. Využití nachází při pohybu uvnitř výrobních hal, firem, oblasti intralogistiky, obchodu, průmyslu a dále. Záměrem firmy je umožnit společnostem, které si zařízení koupí, dosáhnout vyšší účinnosti, zisku, bezpečnosti a komfortu tím, že poskytne poznatky založené na lokalizačních údajích.

Technologie založena na širokopásmové UWB technologii. Přesnost technologie nabízené firmou Sewio je udávána na vzdálenost 40 - 30 cm. Kromě RTLS technologie nabízí firma i speciální software³ TDoA, který umožňuje prodloužit životnost baterie a rozšiřování projektů. Nabízí real time lokalizační UWB technologii pro indoorový tracking. Firma a její produkty jsou příkladem indoorové lokali-

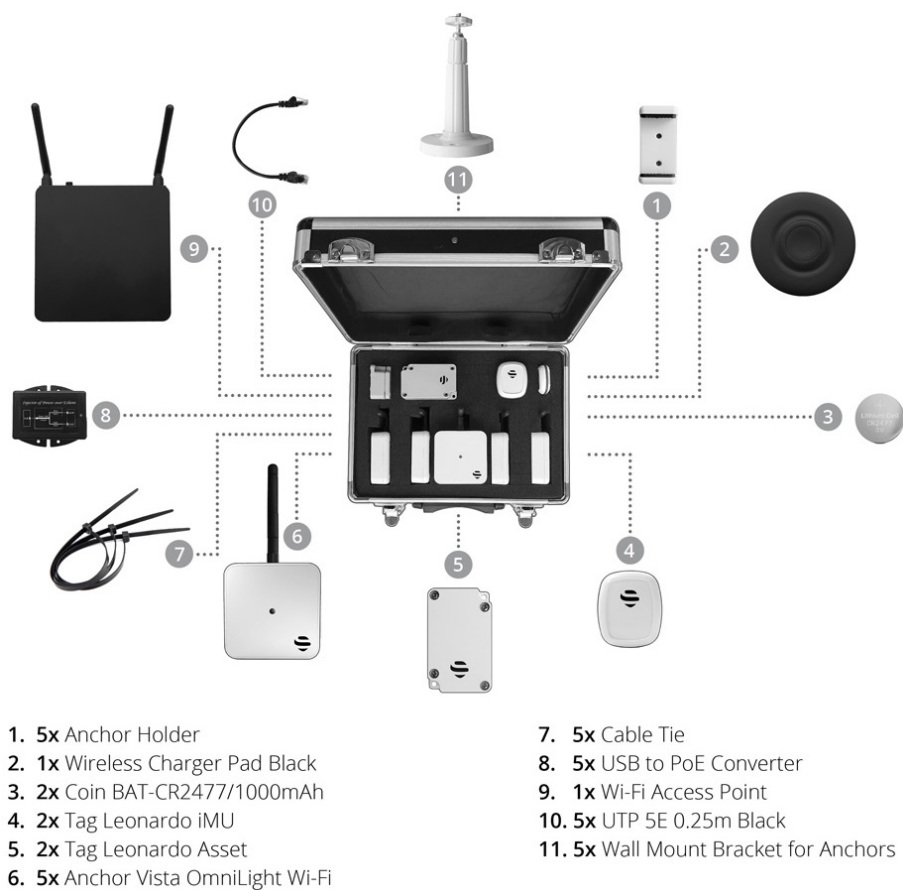
²Indoor Tracking — Real Time Localization System

³TDoA — Time difference of arrival

zace v praxi. Technologii využívá řada známých světových firem jako je Volkswagen, Budvar, Bosch a podobně. Firma byla založena v roce 2014 v Brně, má kolem 20 stálých zaměstnanců, ač vznikla nejprve pouze jako projekt absolventů VUT.[43]

Indoor tracking RTLS UWB Kit

Sewio kromě jiných nabízí Indoor tracking RTLS UWB Kit viz obrázek 1.9. Sada obsahuje komponenty se základem v UWB modulu kombinovaném s RTLS softwarem a tagy. Kit pokryje území o rozloze 400 m², a celé jej zmapuje do 60 minut. Kit dále obsahuje čtyři UWB tagy pro lokalizaci - tyto tagy se umísťují na sledovaný objekt. RTLS studio software umožňuje rychlé použití, bezdrátovou konfiguraci, monitorování a také nástroj, který je schopen poskytnout analýzu o polohových informacích. Cena uvedené sady se pohybuje kolem 2 850 €. [43]



Obr. 1.9: Ukázka kitu Sewio RTLS[43]

1.3.6 Zhodnocení průzkumu technologií pro vnitřní lokalizaci

Zhodnocení průzkumu technologií ukázalo, že nelze globálně upřednostnit žádnou z technologií, vždy je nutné brát v potaz cíl využití, který tedy výběr technologie ovlivní nejvíce. Pro jednotlivé případy se preference na zařízení a technologie budou měnit.

Na závěr kapitoly je možné vidět v pro rychlý přehled v tabulce 1.4 krátké srovnání technologií pro vnitřní lokalizaci některé jejich výhody, nevýhody a krátké slovní srovnání.

Tab. 1.4: Přehledové srovnání indoorových lokalizačních technologií

Metoda	Výhody	Nevýhody	Zhodnocení
GNNS družicové systémy	není nutno instalovat žádný nový hw	nedostatečná přesnost; nedostupnost signálu uvnitř budov	nevhodné pro indoor. lokalizaci
GSM trilaterace	hardware již existuje	nedostatečná přesnost	není dostatečně přesnou volbou pro indoor. lokalizaci
WiFi trilaterace	dobrá dostupnost	zkreslení informací díky multipath efektu	vyžaduje více přístupových bodů pro zvýšení přesnosti, což by bylo energeticky a finančně náročné
BLE	malá energetická spotřeba; nízká pořizovací cena; jednoduchost, snadná manipu- lace; mesh síť	přenos pouze malého objemu dat; kolísání signálu; multipath efekt	pro účely navigace vhodná metoda
UWB	šířka pásma; nejde o měření síly signálu; variabilnost; přesnost; odolnost vůči rušení	vysílací a přijímací antény mohou zkreslit tvar impulsu	technologie obecně velmi využitelná vhodnost záleží na důvodu využití
Bluetooth	snadná dostupnost	nízká přenosová rychlost; rušení v přenosovém pásmu; překážky způsobují pokles síly signálu a mohou jej zkreslit	v rámci vhodného použití např. pro marketingové účely může být dobrou volbou, záleží na způsobu využití

2 Lokalizační techniky

2.1 Triangulace

2.1.1 Obecný princip triangulace

Způsob hledání polohy neznámého objektu. Pro triangulování je potřeba znát nejméně tři úhly mezi referenčními body, jejichž poloha je známa. Tento typ lokalizace využívá geometrie, vlastností trojúhelníku a vztahů v něm platících. Princip je tedy založen na trigonometrii. Referenčními body se často stávají vysílače, protože jejich poloha jakožto referenčního bodu je dobře známa. Kromě referenčních bodů je třeba znát vzdálenosti mezi nimi. Mezi referenčními body a hledanou polohou objektu se měří úhly - úhly, které svírají spojnice s bodem zájmu a spojnice bodů, které známe. Díky danému postupu vznikne trojúhelník. Dalším krokem je vynesení úsečky kolmé na úsečku mezi známými body a ta pak ústí do hledaného bodu. Metoda není příliš praktická pro využití v budovách, protože měření úhlů v budově je složité, ani přepočet signálu na vzdálenost nemůžeme zvát ideálním. Signál totiž může například u WiFi technologie, kde se tento princip užívá, prostupovat stěnami, případně různé materiály a jejich vlastnosti mohou signál odrážet, nebo pohlcovat.[33, 45, 52, 13]

Absolutní triangulace prostřednictvím aktivních majáků nachází obsáhlé uplatnění při lokalizaci mobilních robotů, kdy je požadována přesnost a spolehlivost, je ale třeba vzít v potaz místo využití a komplikovanost prostoru - mobilní roboti ve výrobních halách tedy podmínky splňují. Triangulace za využití aktivních majáků skýtá tyto benefity: robustnost, flexibilitu, přesnost. Existuje několik typů algoritmů pro tento typ lokalizace, mezi něž patří: Geometrická triangulace, Iterativní vyhledávání, Newton-Raphson iterativní vyhledávání, Průsečík geometrického kruhu, triangulace pomocí průsečíku tří kruhů a dále. [13] Každý z těchto algoritmů nachází využití při různých situacích a volí se dle potřeb uživatele. Zdroj [13] uvádí, že jsou všechny zmíněné algoritmy ve srovnání s absolutní triangulací pomocí aktivních majáků nevyhovující v rámci přesnosti, bezpečnosti navigace na velké vzdálenosti nebo dlouhý časový úsek, což podkládá například zdrojem [8], kde se ale nelze spolehnout na současnou relevanci údajů kvůli dataci zdroje. Všechny ostatní zdroje mají dataci obdobnou, proto se dále myšlenka v této práci nerozvíjí.

2.1.2 WiFi triangulace

Systém, který umožňuje z přístupového bodu WiFi lokalizovat uživatele WiFi systému v jeho okolí - je tedy srovnatelný s lokalizací BTS, která byla popsána v jiné

kapitole. Mobilní zařízení sbírá data o uživateli WiFi sítí, které se následně odesílají v ústretu serverům jako je Google – pokud uživatel povolí ve svém zařízení polohové služby - tyto servery informaci dále zpracují. Výhodou je bezesporu přesnější výsledek, to lze říci zvláště o hustě osídlených oblastech s velkým výskytem uživatelů mobilních zařízení s WiFi přístupem. Tato technologie byla jedním z hlavních indoorových lokalizátorů před příchodem iBeacon. V současné době je stále hojně využívána, lze ji i kombinovat s metodou využívající nízko-energetické Bluetooth (BLE). [45, 52]

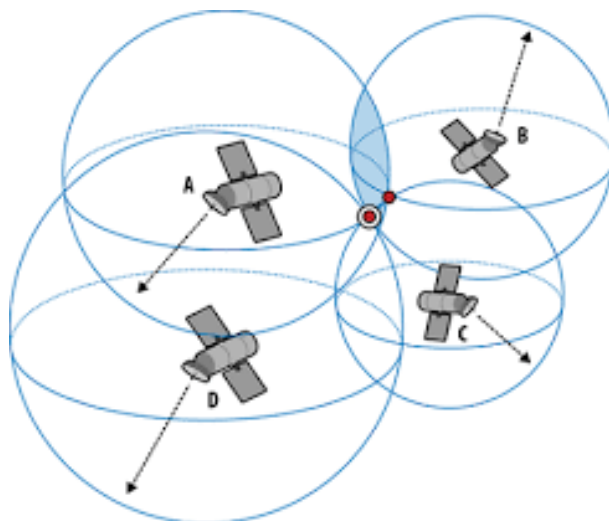
Výhodou je rozšířenost vysílačů a signálu WiFi jak ve veřejných prostorech, tak na domácí půdě. Společné pro technologii využívající Bluetooth a WiFi triangulaci je fakt, že měříme sílu signálu, tudíž i nevýhody budou obdobného kalibru – signál může být často a jednoduše zkreslený například prostředím – průchodem, pohlcením, odrazem. Zkresluje se jednoduše formulováno, čas příchodu signálu a degraduje se tak výtěžný signál – data nejsou poškozena, ale přijdou pozdě, takže ke zkreslení dojde.

Nevýhody systému vycházející z vlastností technologie: signál je inherentní, vnitřně spjatý a má úzké pásmo — je tedy obtížné měřit přesnou amplitudu signálu kvůli sinusovému kolísání a rušení, odchylky jsou způsobené vnějším rušením.

2.1.3 Triangulace mobilních vysílačů

Triangulace nejbližších BTS - Base Transceiver Station - tedy triangulace mobilních vysílačů, které pokrývají signálem území, využívané pro telefonní komunikaci. Je další metodou, jak lokalizovat. Zařízení, které je připojeno do sítě, zná identifikační údaje stanic, kde se zařízení připojí. Takto dojde k získání identifikátoru, který je poté odeslán cestou internetu k lokalizaci. V lokalizační databázi jsou k dispozici údaje o polohách a daná informace se následně odešle zpět. Další skutečností, kterou je třeba zmínit, je hustota okolních vysílačů. Ve městech je dle očekávání velká, naopak v řídko osídlených oblastech může být hustota rozmístění vysílačů v řádu kilometrů. Výhodou BTS oproti GPS jsou nižší nároky na energetický výdaj, teoreticky je systém použit v budovách, kde bývá často GPS signál nevyužitelný nebo zcela mimo dostupnost, což se nepodařilo ověřit. [4, 38]

Metodu triangulace a trilaterace spojuje fakt, že obě metody jsou založené na rozsahu, protnutí oblastí z více družic a matematickým konečným výpočtem vzdálenosti. Dle určité hodnoty v zařízeních se odhaduje vzdálenost vysílač/přijímač (senzor vs. neznámý objekt), poté se vypočítává poloha pomocí pozice známých bodů. Lze tedy uvést rovnou společnou nevýhodu, kterou je nutnost v každém lokalizovaném prostředí, respektive potřeba vědět alespoň hrubý vztah mezi RSS a vzdáleností. Každé prostředí disponuje jinými faktory, které mohou a nemusí ovlivnit



Obr. 2.1: Zjištění polohy trilaterací pomocí satelitů. [42]

převod/odhad.[4, 38]

2.2 Trilaterace a multilaterace

Metoda určování polohy na základě měření, analogie triangulace. Rozdíl je ve výpočtu vzdálenosti místo z úhlů z délek. Nutnost přítomnosti minimálně tří referenčních bodů, každý z nich v prostoru na pozici, jejíž parametry a polohové údaje jsou známy. Trilateraci je možno dále dělit na 2D a 3D dle potřeby buďto ve 2D nebo 3D prostoru, což při lokalizaci v reálném prostoru je jasně dáno 3D. Nalézání souřadnic objektu, který neznáme, spočívá ve výpočtu/odhadu, díky znalosti souřadnic tří nejbližších bodů, jak je ilustrativně znázorněno na obrázku 2.1. [4, 33]

Je ještě možné využít i multilaterace, která je přesnější a má své využití především v armádním prostředí, nicméně stávající informace týkající se triangulace a trilaterace se jeví pro potřeby práce dostačující, proto není multilaterace blíže upřesněna.[4]

2.3 Ostatní metody určení polohy

2.3.1 Metoda nejbližšího souseda

Dále lze lokalizovat pomocí metody nearest neighbour classification – klasifikace podle nejbližších sousedů. Výhodou je rozhodně jednoduchost, nejvhodnější kandidát je vybrán dle vzdálenosti. Nevýhodou je nereálnost v reálných podmínkách, metoda počítá například i s procházení osob zdí a podobně.[29]

2.3.2 Dead Reckoning

Jedná se o matematickou proceduru relativního způsobu lokalizace. Název odvozený z anglického *deduced reckoning* lze vyložit obdobně jako lokalizace díky výpočtu. Relativní metodou je z důvodu výpočtu aktuální polohy z polohy předchozí, může tak nastat chyba ve výpočtu, která se bude dále kumulovat. Z předchozí informace je tedy jasné, že jde o metodu iterativní. Metoda není vhodná pro delší časový blok, kdy roste předpoklad výskytu chyby a její následovné kumulování a stále rostoucí zkreslení.

Podstatou je měření odchylky od daného místa – předchozí polohy, která určí polohu objektu díky výpočtu trasy pomocí známého kurzu, rychlosti a času. Metodu lze dále dělit, za zmínku jistě stojí odometrie. Odometrii lze využít pro získání informace o rotaci kol, vhodné například pro zjišťování polohy robota na stanoveném prostoru.

Přestože se Dead Reckoning jeví jako vhodná technologie pro uživatele mobilních telefonů díky množství senzorů, které telefony obsahují, není tomu tak, neboť metoda má problém se zpracováním např. pravých úhlů a je vhodná pro mapování na prostoru s nekomplikovanou trasou (např. volná hala). Ze senzorů, které jsou při metodě využívány můžeme jmenovat barometr (signalizace výškové polohy v budově), gyroskop či akcelerometr. Údaje ze všech těchto senzorů lze totiž využít pro získání polohové informace – změna rotace, rychlosti, polohy, zrychlení, všechny tyto informace se mohou podílet na výpočtu požadované trajektorie.[37, 51, 22]

2.3.3 Rozšířená realita

Pro tuto práci je pojem pojmem *rozšířená realita* chápán jako prvek umožňující rozšíření systémů o virtuální vrstvu a interaktivní prvky, které umožňuje.

Simultaneous localization and mapping je princip, který umožňuje zjištění polohy a zorientování virtuálních informací vzhledem k realitě za současného mapování okolí. Jednotlivé algoritmy se liší podle účelu využití - marketingové, potřeba projekcí či rozpoznávání objektů v prostředí.[30, 25]

Jednou z možností je využít rozšířenou realitu ve spojení s GPS na mobilním telefonu uživatele. Mobilní zařízení nejprve určí pomocí GPS směr natočení mobilního zařízení, následné srovnání informací z GPS s informacemi v databázi, ve které jsou předem nahrané objekty, čehož výsledkem je reálný obraz na displeji doplněný požadovanými informacemi z databáze. Lze využít také přímo na skle automobilu pomocí průhledného displeje.[3]

Druhou možností je DS indoor lokalizace za využití náramků pro osoby, pohybující se v budovách. Poloha náramku, který má uživatel na sobě, je určena signálem, který vyhodnocuje hotspot. Hotspot funguje na BLE technologii popsané v kapitole 1.3.1.

Data o lokalizaci náramků jsou dále zobrazována na řídicím či kontrolním pracovišti díky aplikacím.[11]

2.3.4 Google Indoor Maps

Záměrem společnosti je zjednodušení orientace uživatele v budově jako je například nákupní centrum či letiště, stadion, stanice veřejné dopravy. Uživatel by měl mít možnost přecházet virtuálně mezi podlažími, přibližovat či oddalovat rozličné detaily orientace.¹

¹Google Indoor Maps: <https://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/>

3 Vlastní řešení lokalizačního systému

Úvod do problematiky řešení

Současná doba má potřebu i poptávku po lokalizačních technologiích z rozličných důvodů. Standardizované technologie pro outdoorovou navigaci nedostačují pro navigaci indoorovou, což řeší technologie jiné, které ale stále nejsou ideální, proto je potřeba v dalším prozkoumávání jiných vhodných technologií a vývoji. Každá z technik uvedených v předchozích kapitolách má jiná pozitiva i negativa, každou je možné využít vhodněji pro určitý účel lokalizace a typ prostoru. Zde je jakožto objekt zájmu využití vnitřní lokalizační technologie nemocniční zařízení. Zařízení není uvažováno jako přístroj sledovací, narušující soukromí pacienta, jde spíše o pacientovu bezpečnost.

Představa a předpoklady pro zařízení

Zařízení by mělo být praktické, mít nízké provozní i pořizovací náklady, být malé velikosti s minimálními energetickými nároky. Využitelnost a praktičnost by měla spočívat v přehlednosti, snadné manipulaci a jednoduchosti systému. Uvažované zařízení by nemělo zatěžovat chodem ani funkčností pacienta, personál či správu zařízení.

Uvažované zařízení by bylo primárně určeno pacientům dětských oddělení, psychiatrických zařízení či pro osoby degenerativností stáří zatížených, případně při infekčnosti pacienta, kdy by neměl ohrožovat okolí. Dále pro osoby, které soudní nařízení umístilo do zdravotnických zařízení s nutností danou osobu sledovat, nebo pacient, trpící například Alzheimerovou chorobou či jinou poruchou paměti případně kognitivních funkcí. Dosah zařízení je uvažován pro obsírnější informaci o přibližném výskytu ve správných místech nemocničního zařízení v řádu místností, nikoli na centimetry. I mimo uzavřená oddělení může mít zdravotnický personál potřebu zjištění výskytu pacienta a to například v případě absence pacienta na vyšetření či zákroku, zařízení pak zprostředkuje informaci o jeho výskytu - již opustil nemocnici, je pouze dezorientován v budově a podobně. Úspora času je zde hlavní předností při usnadnění zjišťování výskytu pacientů.

Jistě existují další příklady pacientů či sociálních zařízeních, kde by přístroj našel uplatnění. Tímto způsobem lze též ověřit například dodržování klidu na lůžku, což může být zdrojem užitečné informace.

3.1 Základní vlastnosti UZV a inspirace pro jeho využití v řešení

Ultrazvuk (UZV) je mechanické vlnění šířící se v pružném (látkovém) prostředí. Z hlediska hranice slyšitelnosti u člověka potom s frekvencí ≥ 20 kHz. U některých zvířat je však ještě detekovatelný sluchem, např. pes vnímá UZV asi do frekvence 45 kHz, kdy až do této frekvence pracují i pomůcky pro výcvik.

Ultrazvuk se šíří pružným prostředím díky vazebným silám částic. Jeho rychlost šíření je ovlivněna prostředím, ve kterém se šíří. Zde je předpoklad prostředí převážně vyplněného plynem (vzduchem), ve kterém se budou nacházet pevné objekty. Rychlost šíření v suchém vzduchu při teplotě 20 °C je 343 ms^{-1} .

Pro účely návrhu zařízení se nepředpokládají frekvence terapeutického či diagnostického ultrazvuku (mj. i z důvodu možné interakce s přístroji), ale UZV nad hranicí slyšitelnosti, který je možné obsloužit standardním mikrofonom.

3.2 Volba vhodné technologie

Myšlenkou realizace bylo využití ultrazvuku pro komunikaci systémů. V přírodě se vyskytuje velmi často forma ultrazvukové lokalizace, jedná se o tzv. *echolokaci živočichů*. Vyskytuje se např. v komunikaci kytovců v moři či netopýrů. U kytovců se šíří ultrazvuk v prostředí kapalném, zatímco netopýři se dorozumívají v prostředí plyném. Z pohledu cíle práce bude technologie použita v prostředí, kterým je vzduch.

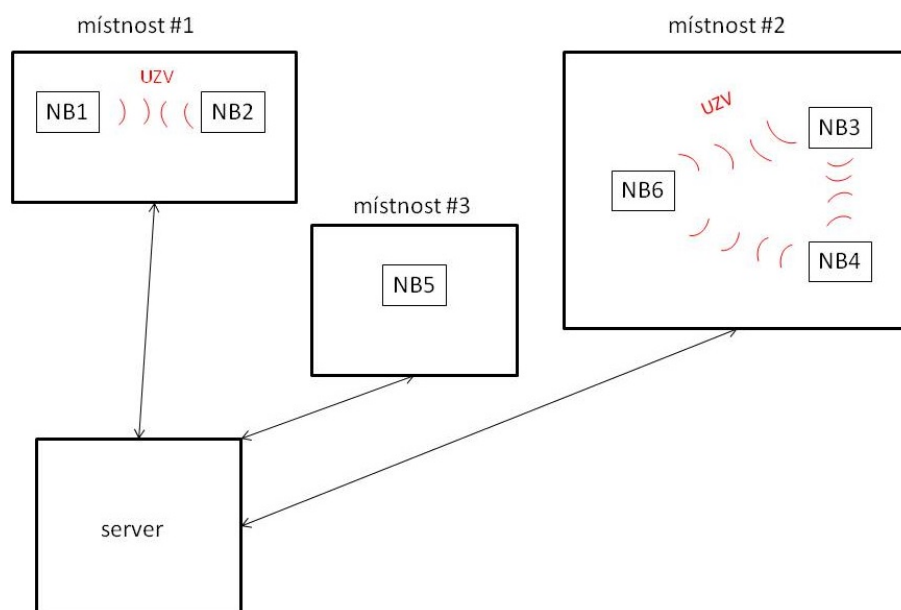
Použití ultrazvuku se využívá pro měření vzdálenosti, kdy je principem vyhodnocování času mezi dobou vyslání signálu a jeho přijetím, tento čas je zván TOF (Time Of Flight). Rychlost šíření akustického signálu vzduchem ovlivňuje přesnost měření, krátká perioda UZV má za důsledek šíření prostředím téměř přímočaře, ale je třeba brát v potaz, že je UZV ve vzduchu tlumen, případně odražen od objektů v prostoru. Tlumení se zvyšuje, pakliže frekvence UZV poroste. UZV vysílače využívají magnetostričního, případně piezoelektrického jevu. První zmíněný je umožněn díky feromagnetickým látkám, vhodným k tomuto použití. Vlivem střídavého proudu, který jimi prochází, se smršťují a znovu roztahují, což generuje UZV vlny. Piezoelektrický měnič využívá deformace krystalu křemene či keramiky.[27]

3.3 Inspirace v systému Around

Největší inspirací celého návrhu byl videokonferenční systém Around, který byl až do 19. března 2020 ve fázi vývoje a ladění. V průběhu řešení této diplomové práce byl systém uvolněn k licenčnímu použití. Jedná se o platformu pro videokonference

více účastníků. Může se zdát, že tento systém nemá s lokalizací nic společného, když jde o videokonference, jde ale spíše o jeho část, která byla inspirací pro tuto práci. Systém Around při své činnosti využívá kombinace dvou médií – ultrazvuku pro identifikaci objektů a datového přenosu (mobilní data, internet) pro samotný audiovizuální přenos.

Při zahájení videokonference se osobní zařízení účastníků připojí k identifikátoru videokonference. Osobními zařízeními se zde rozumí notebook, mobilní telefon, tablet apod. Zařízení navazují komunikaci pomocí integrovaných zvukových karet, které v této aplikaci pracují v oblasti vyšších kmitočtů (UZV). Znázornění systému je možné vidět na obrázku 3.1. Dále zařízení přítomná v uzavřeném prostoru si takto vymění identifikátory a konferenční systém je informován, která zařízení (tedy účastníci) jsou v daném okamžiku ve fyzické blízkosti, tedy v jednom uzavřeném prostoru. Konferenční systém tak při sestavení videokonference pracuje s informacemi o skupinách účastníků, kteří jsou v různých virtuálních místnostech. Takto rozděleným zařízením pak řídí zvukové karty a rozpozná aktuálně hovořícího účastníka. Jednotlivé virtuální místnosti potom pro datový přenos mezi sebou využívají síť internet.[5, 6]



Obr. 3.1: Princip komunikace při sestavení konferenčního hovoru v systému Around. Blok NBx zde představuje koncové komunikační zařízení.

Around je startup s českými a slovenskými kořeny, provozovaný v Americe. Benefity spočívají ve vymezení prostoru kolem obličeje, díky umělé inteligenci a omezení hluku. Software totiž potlačuje hluky okolí a udílí prioritu mluvčímu, systém je tedy schopen upozadnit hluky okolí jako je dětský pláč, štěkající pes, či nežádoucí zvuky

z ulice. Dále je schopný utlumit i osatní mluvící osoby v místnosti kolem volajícího. Měl by být schopen ošetřit až dalších patnáct osob mluvících ve stejné místnosti, odstraňuje i ozvěnu. Eliminace hluků, tzv EchoTerminator, pomocí ultrazvukových vln tlumí zpětnou vazbu a hlas tak nedostává ozvěnu jako u jiných podobných služeb či aplikací.[6]

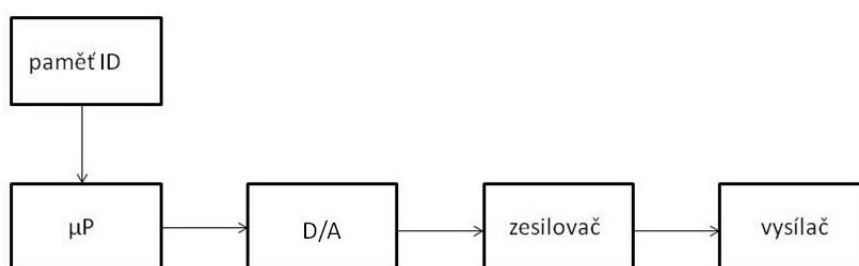
Tvůrci startupu jsou Dominic Zayne, Pavel Serbajlo a Matt Zakutny. Cílem Around je vytvořit nový moderní princip komunikace, usnadnit nonverbální kontakt na dálku jako je například oční kontakt.

3.4 Návrh vlastního způsobu monitorování polohy pacientů v uzavřeném prostoru

Ultrazvukový systém bude pracovat v režimu vysílač - přijímač. Vysílač nosí pacient při sobě ve formě náramku, zatímco přijímač je stacionární zařízení, které je umístěno u vstupu a výstupu do místnosti a z ní.

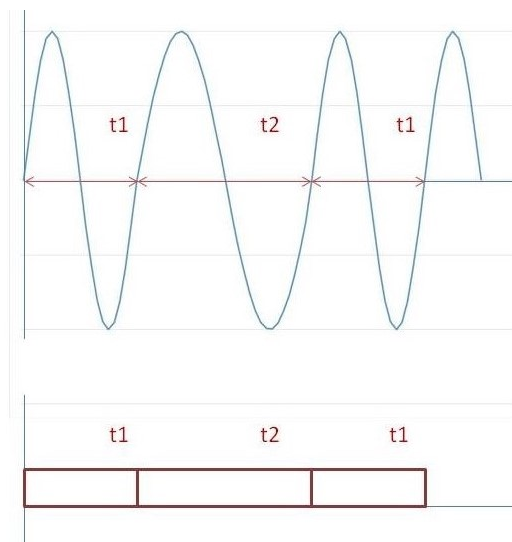
3.4.1 Vysílací část

Aktivní část zařízení je patientský náramek. Náramek byl vybrán z toho důvodu praktičnosti, kdy lze propojit informaci o poloze s ostatními patientskými informacemi. Takové řešení jeví pozitiva z více aspektů mezi které patří praktičnost, velikost, pořizovací náklady či přehlednost, malá zátěž pro pacienta tudíž splňuje plánovaný předpoklad. Jeho principiální blokové schéma je na obrázku 3.2. Náramek je uvažován jeden na každého monitorovaného pacienta.



Obr. 3.2: Blokové schéma vysílače uvažovaného systému

Paměť ID je součástí řídicí jednotky, kdy každý náramek bude mít svoje unikátní ID (viz dále obr. 3.6 na str. 44). Blok **mikroprocesor** může být tvořen mikroprocesorem z rodiny Attiny, neboť jeho jedinou úlohou je převod binárního ID



Obr. 3.3: Vztah periody signálu pro dvě rozdílné frekvence odpovídající binární hodnotě 0 nebo 1.

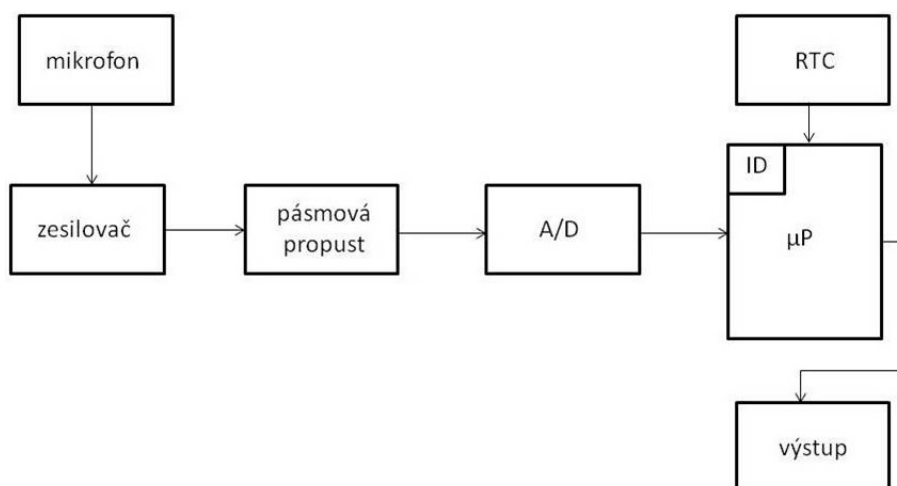
na příslušné sinusové průběhy. Vztah mezi frekvencí a binární hodnotou je naznačen na obrázku 3.3, kdy rozdílná délka periody T_1 , T_2 a odpovídajících časů t_1 , t_2 průchodů „nulou“ budou definovat binární hodnoty 0 nebo 1. K identifikátoru dodá hlavičky a zápatí a převede na digitální výstup. Sinusový průběh lze generovat pomocí přímé číslicové syntézy. Úkolem **D/A** převodníku je potom převod binárního slova na analogový průběh pro výstupní **zesilovač**. Blok **vysílač** bude tvořit vysokofrekvenční reproduktor.

Jelikož se bude jednat o jednostrannou komunikaci, není možné ověřit, že přijímač řádně přijal datovou zprávu. Z toho důvodu bude vysílač opakovat datovou sekvenci v určeném intervalu jež může být nastavena dle potřeb uživatele.

3.4.2 Přijímací část

Pasivní část zařízení je přijímač v místnosti, který načítá kód vysílaný náramkem a předá jej ke zpracování, např. serveru nebo databázovému systému. Blokové schéma přijímacího systému je vyobrazeno na obrázku 3.4. Přijímače jsou uvažovány celkem dva na jeden vchod/východ z místnosti, každý z nich v jednom směru jak je znázorněno na obrázku 3.5. Blokové schéma navrženého přijímače je na obrázku 3.2.

Vstupní část tvoří **mikrofon**, který nejdříve přijme akustický signál, který bude zesílen v bloku **zesilovače**. Následuje úprava signálu pomocí **pásmové propusti**, která může být součástí zesilovače — aktivní pásmová propust. Úkolem pásmové propusti je potlačení nežádoucích frekvencí pro snazší identifikaci poslaného identifikátoru. Upravený signál pásmovou propustí bude digitalizován v bloku **AD** převod-



Obr. 3.4: Blokové schéma přijímače uvažovaného systému

níku a zpracován v mikroprocesoru (blok $\mu\mathbf{P}$). Mikroprocesor přijme digitalizovaný signál a identifikuje průchody nulou, z nichž odečte časy t_1 a t_2 pro dekodování binární hodnoty. Sestavý přijatý identifikátor dostane přidělen vlastní ID konkrétní místnosti, které určuje jeho umístění v budově. Blok **RTC** doplní časové razítko. Jako časové razítko by bylo možné využít např. systém UTC¹, který binárně kóduje uplynulé sekundy od data 1. 1. 1970 a času 0:00:00 s rozlišením času na 1 s. Případně může přijmout čas pomocí NTP². **Výstupem** je zde myšlen zápis do databáze, případně odeslání identifikátoru přes internet apod. Čas, po který bude v databázi informace uchována bude nastaven dle potřeb uživatele.

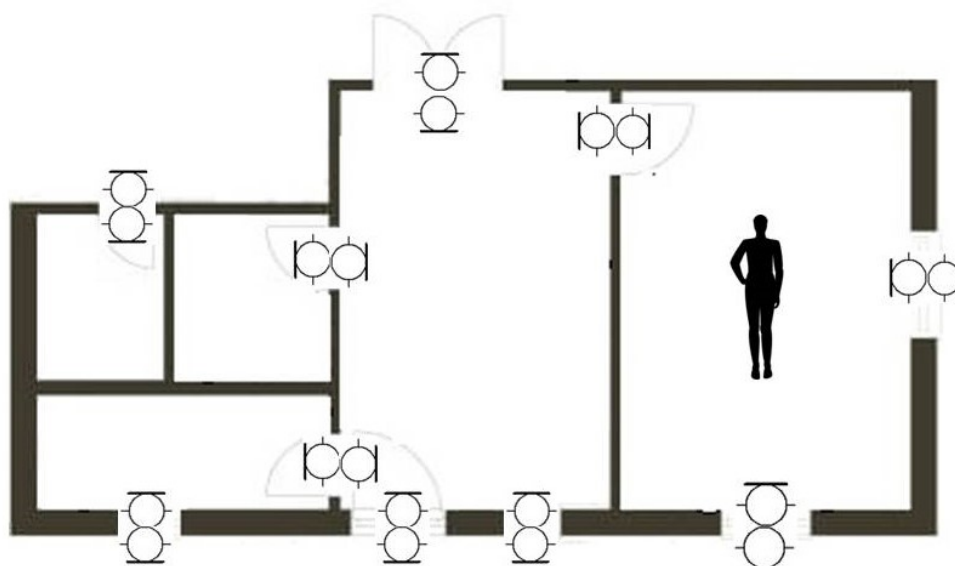
Soubor dílčích přijímačů by tvořil lokalizační síť v definovaném prostoru. Příklad rozmístění je na obrázku 3.5.

3.4.3 Přenosový protokol

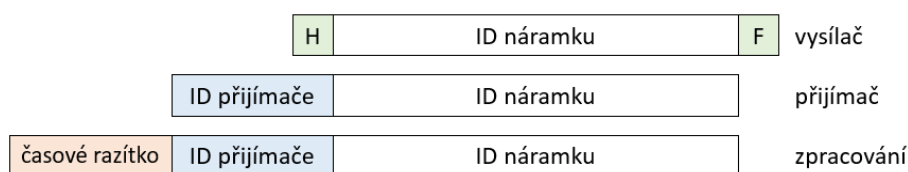
Na obrázku 3.6 je vyobrazen návrh přenosového protokolu. Každý patientský náramek bude opatřen unikátní identifikátorem (ID), který náramek vysílá v podobě binárního kódu, prezentovaného dvěma různými frekvencemi. Z důvodu „bezdrátového“ přenosu by měl protokol vyslat startovací sekvenci [H] a konečnou sekvenci [F] (na obrázku zeleně). Představa přesnosu těchto frekvencí je znázorněna na obrázku 3.6. Pokud by měl protokol např. 16 bitů a 4 bity by byly využity jako hlavička [H] a dva bity jako konečná sekvence [F], zbylo by 10 bitů pro identifikátory, celkem by tak bylo možné identifikovat $2^{10} = 1024$ unikátních ID.

¹UTC, Coordinated Universal Time, 32 bitový časový systém nativní pro počítačové systémy

²NTP, Network Time Protocol



Obr. 3.5: Příklad rozmístění přijímačů pro detekci signálu patientského náramku, umístění mikrofونů je vždy nad vstupem do místnosti, tím je zajištěna detekce osoby při průchodu mezi dvěma místnostmi.



Obr. 3.6: Navržený přenosový protokol

3.4.4 Vývojový kit Cricket

Na základě návrhu v části 3.4 byl vybrán pro ověření systém Cricket.³ Sada Cricket (obr. 3.7) aktuálně obsahuje napájení, převodník RS232 na USB, CD s ovladači a softwarem pro počítač a řídicí desku MIB510ca, 6 ks RF zigbee jednotek (obr. 3.9), 8 ks UZV/RF jednotek (obr. 3.8) a jednu řídicí desku. Režim jednotek (*listener* nebo *beacon*) je možné volit softwarově.

Cricket je systém pro vnitřní lokalizaci založený na senzorech, ultrazvuku a radiofrekvenčních pulsech. Příklad umístění majáků v místnosti je možné vidět na obrázku 3.10. Cricket poskytuje dvě formy informací - identifikátory prostoru a souřadnice

³V rámci průzkumu dostupných lokalizačních technologií byla navázána spolupráce s firmou Sewio. Konzultace tématu proběhla s panem Ing. Milanem Šímkem Ph.D, který má letitou zkušenost s lokalizačními systémy i ultrazvukem. Ing. Šímek dříve působil na Ústavu telekomunikací VUT FEKT, na který dále odkázal. Na Ústavu telekomunikací proběhla konzultace s panem Ing. Ondřejem Kraisou, kdy se podařilo zajistit zařízení Cricket dříve zkoušené Ing. Šímkem.

polohy. Tyto informace míří do aplikací na laptotech, počítačích a senzorových uzlech - záleží na uživateli. Identifikátory prostoru jsou specifikovány uživatelem nebo aplikací pojmenováním pokojů, částí místností apod. Poziční informace jsou kódovány ve třech osách x , y , z . Jednotky mají vestavěný software, je psán v TinyOs softwarové platformě. V softwaru je dle návodu možné provádět změny řídicí jednotkou a za použití TinyOs nebo jiných doporučených softwarových nástrojů.

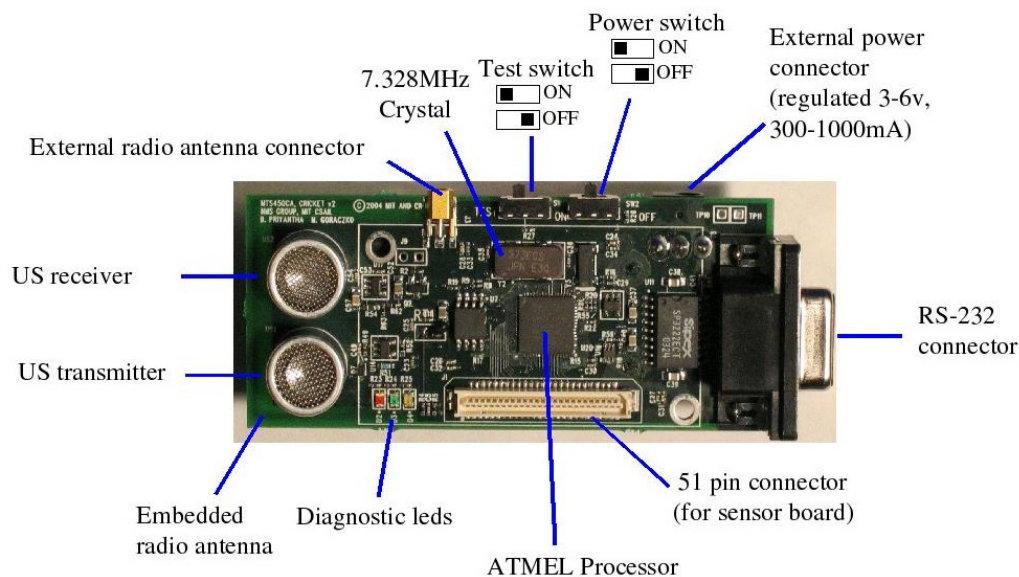
Systém pochází z roku 2004 a existuje ve dvou verzích, rozdílné jsou například v energetické náročnosti či přesnosti. Verzi 2, o kterou se jedná v tomto případě, distribuovala společnost Crossbow technology a firmware je vestavěný.[48]

Crossbow technology byla společnost se základnou v Kalifornii s dvěma typy produktů. V prvním případě šlo o produkty založené na kombinaci senzorů, optických vláken a gyroskopu, v druhém případě o senzory zaměřené na lokalizaci, GPS a podobně. Firma byla založena v devadesátých letech a v červnu 2011 byla získána společností Moog Inc.[48]

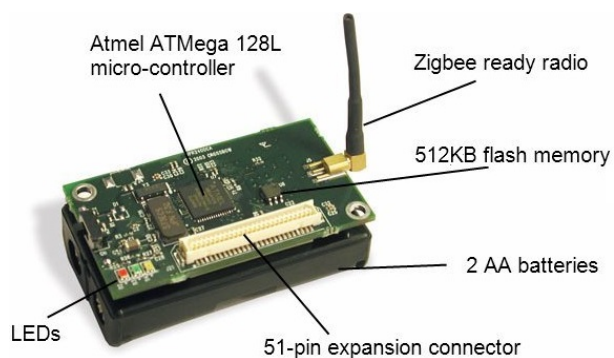
Princip využití systému závisí na jeho rozmístění v prostoru. Příkladem využití může být navigace člověka či robota, snímání polohy v nemocničních či lékařských zařízeních, dále oblasti, kde venkovní poziční systémy nefungují. Zařízení je navrženo na provoz s malým příkonem, lze jej využít jako uzel pro připojení dalších senzorů. Cricket využívá kombinaci UZV a radiofrekvenčních (dále RF) technologií. Sestává z *majáků*, které lze umístit na strop nebo stěnu (viz obrázek 3.10). RF vysílání běží souběžně s UZV pulsem, přijímač připojený k systému tedy obdrží nejprve



Obr. 3.7: Konkrétní obsah zapůjčeného Cricket kitu



Obr. 3.8: Hardware jednotka přijímač/vysílač [48]



Obr. 3.9: MICAz[48]

RF signál a po přjetí prvních bitů korespondující UZV puls. Jakmile tento puls dorazí do přijímače, obdrží přijímač odhad vzdálenosti od odpovídajícího majáku. RF puls se šíří jinou rychlostí než UZV – rychlost světla vs rychlost zvuku. Cricket dále obsahuje kompas a má tak možnost vnitřní orientace, není ale jasné, zda jej obsahuje i toto zařízení, jelikož dokumentace k systému je koncipována „s výhledem do budoucna“ a obsahuje i funkcionality, které *budou*. Přijímač a maják jsou po hardwarové stránce identická zařízení, liší se pouze naprogramovaným softwarem. Jednotka pracující v režimu maják je aktivní, jednotka pracující v režimu přijímač je pasivní jednotkou.[48]

Systém se bohužel nepodařilo zcela uvést do provozu, neboť má poškozenou řídící desku a senzory tak není možné přeprogramovat pro jiné účely. Bylo tak provedeno alespoň dílčí ověření principu pomocí již naprogramovaných „majáků“.



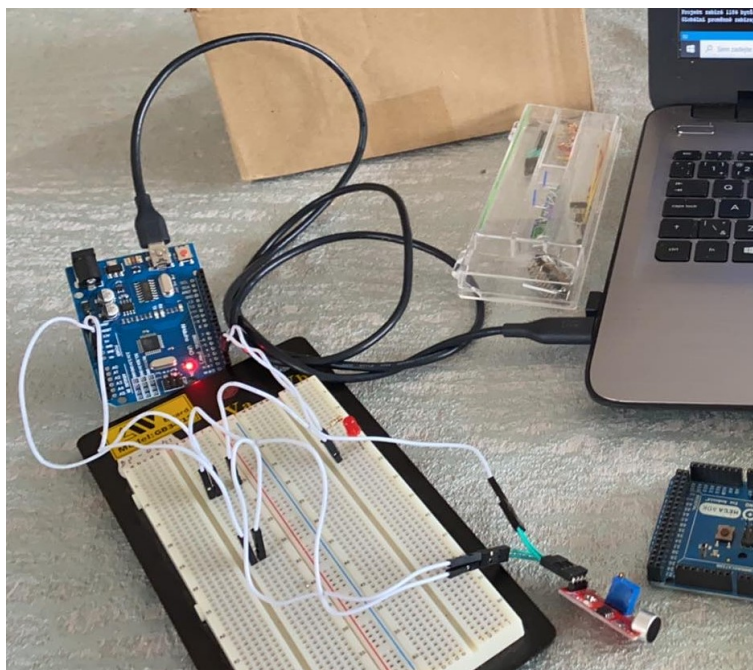
Obr. 3.10: Příklad rozmístění majáků v prostoru[48], nahoře pohled na celou místnost, dole detail umístění majáku u stropu

Systém Cricket by nebyl jakožto samostatné UZV zařízení pro vývoj navrženého zařízení ideální, jelikož snímání samotného ultrazvuku (bez použití RF senzoru) je silně směrové a nevede k potřebným výsledkům. Naklonění o několik stupňů mezi vysílačem a přijímačem vedlo ke ztrátě ultrazvukového signálu. V původní aplikaci systém Cricket používá UZV jako doplňkový signál k vysílanému RF signálu a to pouze pro ověření jeho vlastní přítomnosti v jednom uzavřeném prostoru (princip srovnatelný s Around, viz kap. 3.3).

3.4.5 Experimentální ověření

Ověření komunikace pomocí ultrazvuku proběhlo s využitím modulu elektretového mikrofonu s předzesilovačem připojeném k jednotce Arduino UNO (obr. 3.11). Vysílán byl sinusový průběh na frekvenci 22 kHz. Bylo provedeno měření utlumů při různých úhlech naklonění (tab. 3.1) a pro různou vzdálenost (tab. 3.2). Dále byl proveden experiment se zakrytím cesty mezi vysílačem a přijímačem pomocí běžné látky, simulující zakrytí patientského náramku, zde byl útlum 5,8 dB.

Výběr součástek byl volen z důvodu kompatibility a předchozí dobré zkušenosti s výrobky Arduino. Dále také existencí vhodného kompatibilního software. Vybrána byla jednotka Arduino UNO a elektretový, vysoce citlivý mikrofonní modul, který je zdokumentován na obrázku 3.12. Bylo vyzkoušeno více způsobů zapojení a ověření funkčnosti a citlivosti mikrofonu viz příloha - obrázky A.6 a A.7.



Obr. 3.11: Zapojení a zkouška mikrofonu verze

Tab. 3.1: Útlum signálu v závislosti na úhlu mikrofonu od zdroje (vzdálenost vysílače a přijímače při měření 0,5 m)

úhel [°]	útlum [dB]
0	0
30	0,21
45	1,44
60	6,55
90	8,22

Tab. 3.2: Útlum signálu v závislosti na vzdálenosti mikrofonu od zdroje (při úhlu mezi vysílačem a přijímačem 0°)

vzdálenost [m]	útlum [dB]
0,5	0,83
1,0	4,70
1,5	6,51
2,0	19,24



Obr. 3.12: Zvolený mikrofonní modul

4 Diskuze

První část práce představuje GNSS systémy, kde se nastiňuje princip funkce těchto systémů a jejich efekt při použití v indoorové lokalizaci což nejlépe vystihuje obrázek 1.3 (str. 15), kde je názorně vidět, že uživatel na určitém místě informaci obdrží, nicméně není dostatečná.

Pakliže by měla být zhodnocena jedna z GNSS technologií jako nejvhodnější, byla by vybrána GPS vzhledem k nejdelším zkušenostem v oboru a letitým zavedeným provozu. Z provedeného ověření v kapitole 1.2 vyplývá, že GPS satelity se nejvíce podílely na provedeném ověření. Další zajímavou lokalizační volbou se zdá být GSM systém, z důvodu dobré současné vybavenosti obyvatelstva mobilními telefony a s tím souvisejícím pokrytím mobilních vysílačů - tedy hardwarové vybavenosti. Nicméně metoda není dostatečně přesná pro účely indoorové lokalizace.

V kapitole pojednávající o technologiích přímo určených pro vnitřní lokalizaci je velmi zajímavým zjištěním vhodnost využití BLE a UWB technologií pro lokalizaci v budovách. Každá z technologií nabízí jiné klady, podle kterých lze volit v závislosti na aplikaci tu výhodnější. U BLE je to například energetická úspora, u UWB šířka pásma.

Sumarizaci první části práce uvádí tabulka 1.4, kde jsou přehledně uvedeny výhody, nevýhody i celkové zhodnocení technologií a standardů uvedených v této části práce. Všechny indoorové lokalizační metody mají svoje pozitiva i negativa. Nelze tedy žádnou z nich primárně upřednostnit, je nutné zvážit účel, místo a okolnosti použití.

Zvolená obsahová struktura práce se snaží nastínit principy systémů, a ač se řazení druhé části práce může jevit jako sporné — trilaterace a triangulace za kapitoly o GNSS systémech a GMS, které tyto principy využívají — bylo toto vyhodnoceno jako nejpřehlednější. Záměrem bylo věnovat se principům ve zvláštní kapitole.

Praktická část popisuje návrh vysílací a přijímací části systému, bloková schémata, způsob umístění a podobně. Dále uvádí systém Around a systém Cricket. Zajímavé zjištění nastalo při vychýlení jednotky Cricket o pár stupňů ze stabilní pozice. Nastala směrovost, útlum a odraz UZV signálu od okolních předmětů (tzv. multipath efekt), což signál na příjmu zkreslilo, zeslabilo a zásadně ovlivnilo. Ověření vlastního řešení je popsáno a doloženo v kapitole 4, kdy bylo provedeno měření s elektretovým mikrofonom připojeným k jednotce Arduino UNO. Výběr součástek byl volen z důvodu kompatibility a předchozí dobré zkušenosti s výrobky Arduino. Dále také existencí vhodného software. Vysílán byl sinusový průběh na frekvenci 22 kHz a měřily se útlumy při různých úhlech natočení, různou vzdáleností a překážkou mezi vysílačem a přijímačem. Překážkou zde byla látka, která měla simulovat překrytí pacientského náramku oděvem. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 3.1 a 3.2.

Tyto výsledky potvrdily obdobné zjištění u jednotky Cricket.

Využití samostatného ultrazvuku v lokalizaci se teoreticky jeví jako dobré řešení, ač praktická část práce tezi částečně vyvrátila, dává původní myšlenka smysl. UZV lze efektivně využít v kombinaci s jinou metodou ať už s RF jako u systému Cricket nebo datovým přenosem jako u systému Around. UZV sám o sobě nebude patrně ideálním řešením v problematice indoorové lokalizace, nicméně je možné myšlenku dále rozvíjet. Jednou z možností se zdá být lokalizování medicínské techniky, kdy by UZV senzor mohl být napájen spolu s přístrojem, který bude lokalizovat, čímž by se současně vyřešila otázka napájení modulu.

Lze očekávat, že se práce po informativní stránce může stát podnětem pro budoucí rozvoj myšlenky, protože nadále zůstává problematika indoor lokalizování složitou záležitostí, maximálně efektivně řešitelnými zůstávají pouze otevřené prostory jako výrobní haly apod.

Závěr

Tato diplomová práce se zabývá nejprve uvedením informací z oblasti lokalizačních technologií, které jsou přímo určeny na idoorový druh lokalizování, či je lze na něj použít. Součástí teoretické části práce je úsek, zabývající se systémy pro vnitřní lokalizaci a také kapitola věnující se konkrétním příkladům z reálného využití. V této části práce je i orientační srovnání systémů.

Praktická část práce nejdříve uvádí návrh vlastního řešení lokalizačního zařízení za využití ultrazvuku — blokové schéma vysílače a přijímače, což bylo cílem práce. Následovala druhá část praktické části — průzkum a testovací fáze zařízení Cricket, ověřily se tedy reálné možnosti UZV v lokalizaci, dále ověření vlastního řešení v kapitole, kde je uveden výsledek. Další informace ohledně zařízení Cricket jsou uvedeny v příloze. Z testování vykryštoval závěr o směrovosti ultrazvuku v lokalizačním využití, což více než osvětlilo kombinaci UZV s RF technologií v zařízení Cricket, nebo UZV v kombinaci s datovým přenosem u systému Around. Dále bylo zjištěno u vlastního řešení, že tzv. multipath efekt je opravdu výrazný, že záleží na vzdálenosti vysílače a přijímače, rotaci zařízení či překážce v cestě signálu.

Z výsledků průzkumu a testování je možné usoudit, že každá lokalizační metoda je vhodná pro jiné využití a globálně nejde žádnou z nich komplexně upřednostnit, dale také, že UZV je vhodné kombinovat s jinou technologií ve smyslu použití pro lokalizační účely z důvodu směrovosti a multipath efektu.

Z pohledu použitých metod se nejvíce uplatnitelným pro obdobné použití jeví standard UWB, jehož signál má mnoho benefitů, mezi něž lze v krátkosti shrnout odolnost proti rušení, přesnost a spotřeba energie, mezi mínusy patří prozatimní nezažitost technologie a jiná úskalí.

Myšlenka rozvoje lokalizačních metod je velmi aktuální a žádaná, proto dává smysl se tématem dále zabývat. Během konzultací byl oceněn přístup.

Potřeba lokalizovat zde byla, je a bude, rozvoj obdobných technologií lze rozhodně předpokládat. Závěrem se jeví vhodné uvést, že lze předpokládat postupné pozbytování aktuality údajů, jako je například počet satelitů v první části práce vzhledem ke stále rychlejšímu rozvoji techniky a pokroku. Tématika lokalizace je obecně obsáhlá a přínosná, rozhodně si zaslouží pozornost.

Literatura

- [1] Aislelabs: The Hitchhikers Guide to iBeacon Hardware: A Comprehensive Report by Aislelabs [online]. In: . 2014, 2014 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <http://www.aislelabs.com/reports/ibeaconbattery-phones/>
- [2] Apple INC.: CLBeacon Class Reference [online]. In: . 2013, 18.09.2013 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreLocation/Reference/CLBeacon_class/index.html
- [3] Automa: časopis pro automatizační techniku [online]. Děčín: Automa-časopis pro automatizační techniku, 2013, 2013(12) [cit. 2020-04-08]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <https://automa.cz/>
- [4] BERGMANN. Jak funguje GPS?: Svět Hardware. Svět Hardware [online]. 2006, 21.6.2006 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/>
- [5] CONSTINE, Josh. Around is the new floating head video chat multi-tasking app. In: Tech Crunch [online]. 18.3.2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://techcrunch.com>
- [6] BEDŘICH, Václav. Jen hlavy volajících a žádný ruch. Chatovací aplikace Around získala desítky milionů od českých investořů a jde na trh. CZECHCRUNCH [online]. 19.3.2020, (3), 3 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.czechcrunch.cz/>
- [7] Bluetooth.com Bluetooth Core Specification [online]. Dostupné z : <https://www.bluetooth.com/>
- [8] Borenstein, J., Everett. H. R. and Feng, L., Where ani I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning, Technical Report. The University of Michigan, 1996[cit. 2020-04-05]
- [9] ČÁBELKA, Miroslav. Úvod do GPS: CITT Praha Akademie kosmických technologií oblast Galileo, GMES. Natur.cuni.cz: Geografie/ Geoinformatika a kartografie [online]. Přírodovědecká fakulta UK v Praze: Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, 2008, 2008 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/>
- [10] DLOUHÝ, Martin. GPS. Robotika.cz [online]. Robotika.cz, 2006 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://robotika.cz/>
- [11] DS indoor lokace: Systém pro lokaci osob v budovách [online]. Praha: DATASYS [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://datasys.cz>

- [12] DOLEJŠ, Jan. SVĚTANDROIDA: Jak funguje zaměření polohy pomocí GPS? [online]., Světandroida, 2015, 30.3.2015 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/>
- [13] ESTEVES, J.S., CARVALHO, Adriano a Carlos COUTO. (2003). Generalized geometric triangulation algorithm for mobile robot absolute self-localization. Industrial Electronics.2003. 1. 346 - 351 vol. 1. 10.1109/ISIE.2003.1267272.
- [14] European GNSS: What is GNSS? European Global Navigation Satellite Systems Agency [online]. European GNSS Agency: European GNSS Agency, 2019, 2017 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.gsa.europa.eu/>
- [15] Vesmír: evropský družicový systém Galileo. In: Evropská komise [online]. Brusel, 2019, 9.9.2019 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: www.ec.europa.eu
- [16] GALILEO - Evropský globální navigační družicový systém. Český kosmický portál [online]. Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVaI, c2017 [cit. 2020-05-18]
- [17] Galileo Signal Plan. In: Esa [online]. 2011 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://gssc.esa.int/>
- [18] GSM systém a jeho využití. In: Tegus [online]. 20.5.2015 [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.tegus.cz/magazin/technologie/gsm-system-a-jeho-vyuziti>
- [19] Globální navigační systémy. Eknihovna mendelu [online]. Brno [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://is.mendelu.cz/eknihovna/>
- [20] GLONASS HISTORY. Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing: Glonass history [online]. Korolyov: Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing, c2005-2019 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://prism2.mem.drexel.edu/~billgreen/slam/slam.html>
- [21] GNSS - Global Navigation Satellite System. Český kosmický portál Informační stránky Koordinační rady ministerstva dopravy pro kosmické aktivity [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.czechspaceportal.cz/>
- [22] GREEN, William. Simultaneous Localization and Mapping(SLAM) [online]. In: . 2003, 2006 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <http://prism2.mem.drexel.edu/~billgreen/slam/slam.html>
- [23] HANKA. Přesnost GPS navigace: 5+1 faktorů, které na ni mají vliv. TerraHunt [online]. Brno: Z-AGENCY [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: www.terrahunt.cz

- [24] HRDINA, Zdeněk, Petr PÁNEK a František VEJRAŽKA. Rádiové určování polohy: (Družicový systém GPS) Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01386-3.
- [25] CHANDLER, Nathan a Kevin BONSOR. How augmented reality works?: Augmented reality [online]. In: . 9.11.2018, s. 6 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://computer.howstuffworks.com>
- [26] China Satellite Navigation Office. Development of the BeiDou Navigation Satellite System [online]. China, 2019 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <http://m.beidou.gov.cn>
- [27] CHOWNING, John a David BRISTOW. FM Theory and Applications: By Musicians for Musicians. Tokyo, Japan: Yamaha Music Foundation, 1986. ISBN 4-636-17482-8 COO73.
- [28] KANDHARE, Akash. Bluetooth Vs. Bluetooth Low Energy: What's The Difference? Medium [online]. 18.6.2019 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://medium.com>
- [29] KUČERA, Jiří. Metoda nejbližšího souseda(Single linkage): Shluková analýza [online]. In: . Brno [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://is.muni.cz>
- [30] MARSA, Dušan. Rozšířená realita: Augmented reality [online]. In: . 27.3.2019, s. 3 ,Soběslav[cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://blog.aliup.cz>
- [31] MICHLOVSKÝ, Jakub. Computer časopis: Jak mobily určují svoji polohu?Ve hře jsou satelity a teorie relativity. Mobilmania.cz: Computer časopis [online]. 2019, 30.7.2019 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.mobilmania.cz/>
- [32] MIKÉSKA, Zdeněk. Specifikace rádiové části systému Bluetooth. Elektrověda. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií: Ústav radioelektroniky, 2004, 2004(3). DOI: 102/03/H109.
- [33] MLAT - multilaterace: Moderní letecká navigace. Moderní letecká navigace [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <http://www.airnav.eu/index.php?stranka=mlat>
- [34] Mobilní sítě GSM - mobilní sítě 2. generace. In: <https://publi.cz/> [online]. Brno: Publi, 2020, 2020 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/236/03.html>
- [35] Moderní letecká navigace: GNSS[online]. Praha: Moderní letecká navigace, 2014[cit. 2020-01-29]. Dostupné z : <http://www.airnav.eu/>

- [36] NILSSON, B. Bluetooth Low Energy vs. Classic Bluetooth: Choose the Best Wireless Technology For Your Application [online]. In: . 2012, 08.06.2012 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <http://www.medicalelectronicsdesign.com/article/bluetooth-low-energy-vs-classicbluetooth-choose-best-wireless-technologyyour-application>
- [37] Odometry and Dead Reckoning [online]. 2006 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: http://www.rst.e-technik.unidortmund.de/cms/Medienpool/Downloads/Lehre/Vorlesungen/Robotics_Theory/Odometry.pdf
- [38] PAFKOVIČ, Roman. Přehled a porovnání principů činnosti současných druhů GNSS ve světě [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <http://vutbr.cz>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc.Ing.Slavomír Vosecký, Csc.
- [39] PLAŠIL, Matouš. ARTIN blog: Jaký je rozdíl mezi Bluetooth, Wi-Fi a UWB technologií pro indoor lokalizaci? ARTIN blog: Jaký je rozdíl mezi Bluetooth, Wi-Fi a UWB technologií pro indoor lokalizaci? [online]. Brno: ARTIN, 2016, 2016 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.artin.cz/>
- [40] PUŽMANOVÁ, CSC,. MBA, Ing. Rita. Wi-Fi a služby lokalizace nejen ve zdravotnictví [online]. 7.11.2006 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.dsl.cz/clanky/558-wi-fi-a-sluzby-lokalizace-nejen-ve-zdravotnictvi>
- [41] Radiové přenosové cesty: Satelitní družicová komunikace radiových systémů [online]. In: . [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/236/01.html>
- [42] RAIS, Michael. WiFi lokalizace pro Android [online]. Brno, 2014 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/> Bakalářská práce. Masarykova univerzita Fakulta informatiky. Vedoucí práce RNDr. Jonáš Ševčík.
- [43] SEWIO: Sewio Networks, s.r.o. Sewio [online]. Brno: Sewio, 2014, 2014 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.sewio.net/>
- [44] SIEMENS. Služby umožňující lokalizaci: Vnitřní lokalizační systém. In: <https://new.siemens.com/cz/> [online]. 2020, 2020 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs/products/technologie-budov/topics/indoor-positioning-system.html>
- [45] SURYNKOVÁ, Petra. Triangulace: Edukační prezentace [online]. In: . [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: http://surynkova.info/dokumenty/mff/PG/Prednasky/prednaska_10.pdf

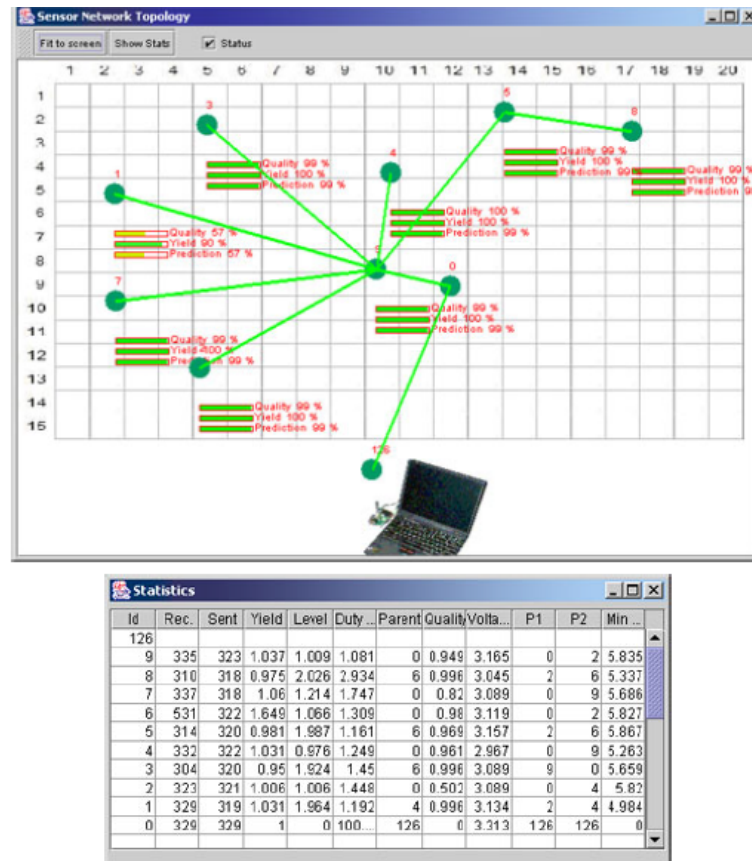
- [46] ŠEBESTA, PH.D, Doc. Ing. Jiří. Globální navigační systémy [online]. In: . Brno: ISBN 978-80-214-4500-0, 2012, 2012 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/~sebestaj/RAR/literatura/Globalni_navigacni_systemy.pdf
- [47] Tab-tv: Navigation systems GPS, Glonass, Beidou, Galileo. In: Tab-tv [online]. 2015, 8.11.2015 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://en.tab-tv.com/>
- [48] The Cricket Indoor Location System. The Cricket Indoor Location System [online]. USA: Cambridge, 2004 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <http://cricket.csail.mit.edu/>
- [49] Učebnice teorie rádiové komunikace: UWB signály [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013 [cit. 2020-04-23].
- [50] Vesmír: Velké umění astronavigace: Od astrolábu po sextant [online]. Praha: Vesmír, 2018, 2018(10) [cit. 2020-05-23]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/>
- [51] WINKLER, Zdeněk. Lokalizace. In: Robotika [online]. 2003, 2003 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <http://robotika.cz/guide/localization/cs>
- [52] ZAHRADNIK, Fred. An Explanation of Wi-Fi Triangulation: Learn how Wi-Fi GPS works to track your location. In: Lifewire [online]. 13.4.2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/wifi-positioning-system-1683343>
- [53] ZŠ J.A.Komenského. Atmosféra - plynný obal Země: Program 2015 pro poskytování dotací z rozpočtu Středočeského kraje na Enviromentální výchovu [online]. In: . Nové Strašecí, 2015, 2015 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://www.zsnovestraseci-enviro.cz/>

Seznam symbolů, veličin a zkratek

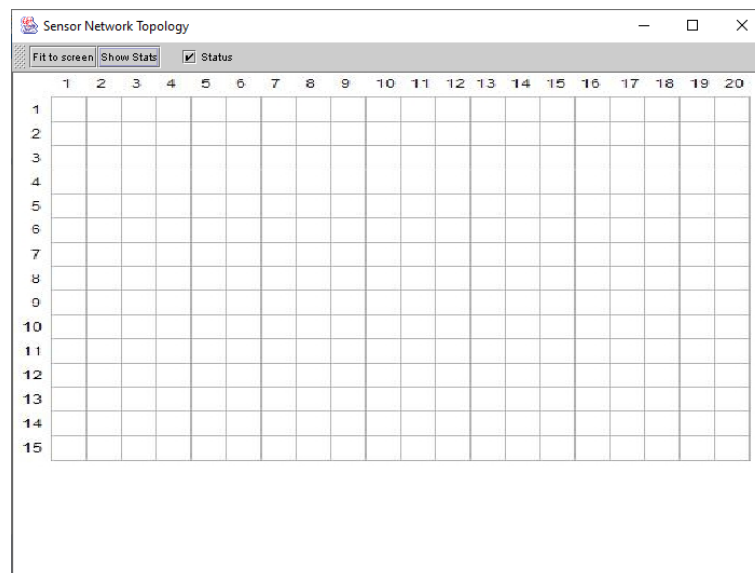
BLE	Bluetooth Low Energy
BTS	Base Transceiver Station
GLONASS	GLObalnaja Navigacionnaja Sistěma
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Possition System
GSM	Global System for Mobile communications
RTC	Real time clock
RTLS	Real-time lication system
SAR	Search and rescue
TDoA	Time difference of arrival
TOF	Time of flight
UWB	Ultra Wide Band
UTC	Coordinated universal time
UZV	Ultrazvuk
WiFi	Wireless Fidelity
WPNA	wireless personal area network

Seznam příloh

A	Testování systému Cricket	60
A.1	Testování	60
A.2	Komunikace s řídicí deskou	62
A.3	Další možnosti zapojení vlastního řešení	63



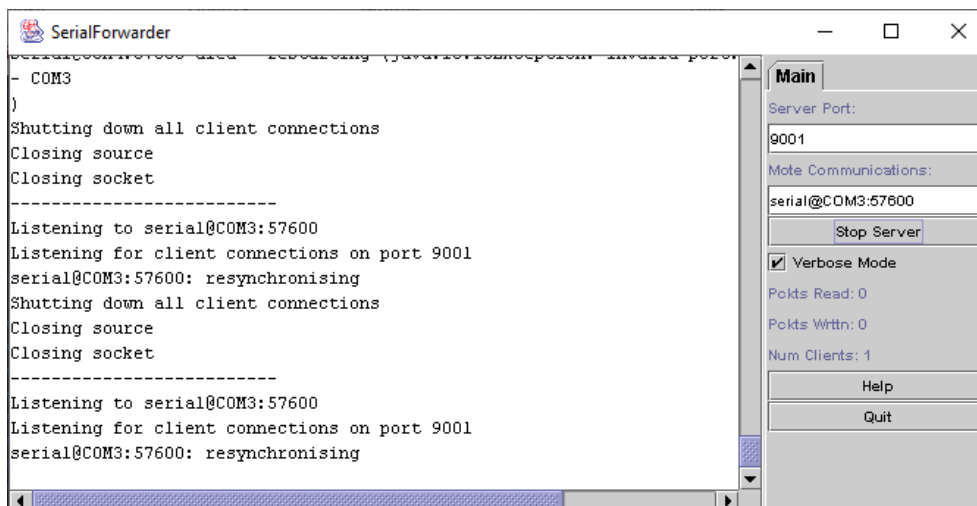
Obr. A.2: Naplněná senzorová mřížka (nahore) a příslušná statistika senzorů [48]



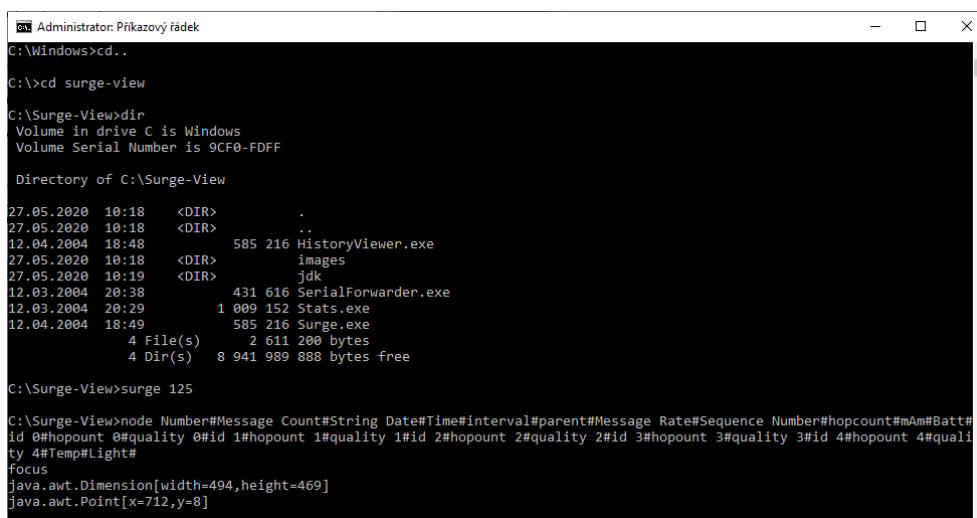
Obr. A.3: Senzorová mřížka na řídicí desce; mřížka je nenaplněna z důvodu špatné komunikace řídicí desky, která není schopna akvizice dílčích senzorů.

A.2 Komunikace s řídicí deskou

Na obrázku A.5 je možné vidět zadané příkazy při spouštění. Dále co bylo nastaveno jako údaje pro desku. A.4

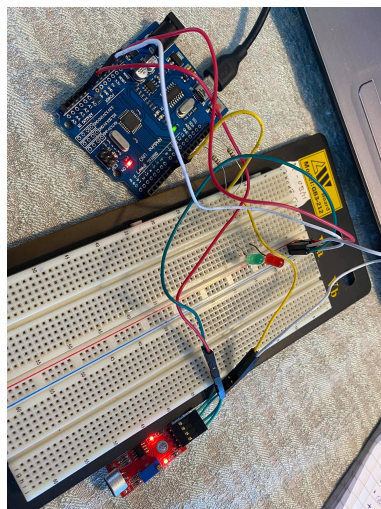


Obr. A.4: Ukázka komunikace po sériovém portu

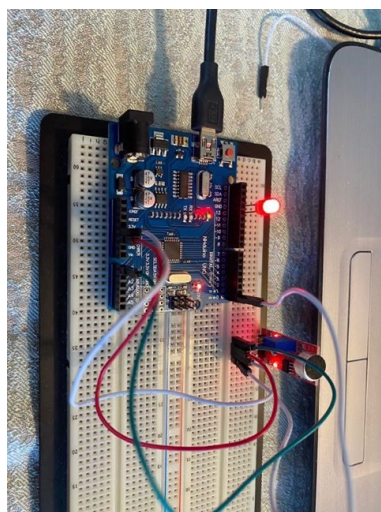


Obr. A.5: Ukázka nastavení příkazovým řádkem

A.3 Další možnosti zapojení vlastního řešení



Obr. A.6: Jeden z testovaných způsobů zapojení při realizaci vlastního řešení



Obr. A.7: Další z testovaných způsobů zapojení při realizaci vlastního řešení