



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

NOSITELNÁ ZAŘÍZENÍ: JEJICH MOŽNOSTI A APLIKACE

WEARABLE DEVICES: POSSIBILITIES OF USING AND APPLICATIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN HEREC

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN SAMEK, Ph.D.

BRNO 2016

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav inteligentních systémů

Akademický rok 2015/2016

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Herec Jan**

Obor: Informační technologie

Téma: **Nositelná zařízení: jejich možnosti a aplikace**

Wearable Devices: Possibilities of Using and Applications

Kategorie: Modelování a simulace

Pokyny:

1. Prostuduje problematiku nositelných zařízení (wearable devices), jejich možností, rozhraní a komunikaci s mobilními zařízeními nebo PC.
2. Prostudujte a popište možnosti aplikace současných nositelných zařízení. Prostudujte rovněž i možné budoucí trendy a doposud nerealizované koncepty jejich využití.
3. Navrhněte a vytvořte netriviální aplikaci pro mobilní zařízení a případně pro nositelné zařízení, která bude vhodně demonstrovat možnosti použití a způsoby komunikace těchto zařízení.
4. Vaši aplikaci otestujte a porovnejte s již existujícím aplikacemi na trhu.

Literatura:

- RUIZ, David Cuartielles. *Professional android wearables*. ISBN 1118986857.
- Building Apps for Wearables: <https://developer.android.com/training/building-wearables.html>

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 a 2 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Samek Jan, Ing., Ph.D.,** UITS FIT VUT

Datum zadání: 1. listopadu 2015

Datum odevzdání: 18. května 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav inteligentních systémů
612 66 Brno, Božetěchova 2

doc. Dr. Ing. Petr Hanáček
vedoucí ústavu

Abstrakt

Práce pojednává o nositelných zařízeních, která jsou dnes aktuálním tématem. Představuje jejich historii, způsob komunikace a možnosti aplikace. Dále popisuje vytvořené řešení, které demonstruje uplatnění nositelných zařízení při ovládání robota. Řešení sestává z nositelného zařízení s názvem Myo armband, Android aplikace a robota na platformě ROS (Robotický operační systém). Myo armband má tvar náramku, který se umístí na předloktí a obsahuje senzory jako magnetometr, gyroskop, akcelerometr a EMG (elektromyografické senzory pro snímání svalové aktivity na základě kterých rozpoznává některá gesta). Aplikace je navržena pro ovládání pojízdného robota, který je schopný jezdit dopředu, dozadu, zatáčet a to na základě gest a pohybů ruky, na níž je připevněno nositelné zařízení. Za tímto účelem čte příslušná data z nositelného zařízení pomocí technologie Bluetooth LE (Low Energy), vyhodnocuje je a pomocí technologie Wi-fi zasílá řídicí zprávy robotovi. Blíže je popsán také robot, na kterém bylo ovládání otestováno. S využitím aplikace (hlavní přínos autora) a náramku Myo je tak možné ovládat množinu pojízdných robotů poháněných ROS.

Abstract

This thesis focuses on wearable devices that are currently actual topic. It presents their history, communication methods and capabilities of application. It further describes created solution that demonstrates the application of wearable devices for controlling a robot. The solution consists of a wearable device named Myo armband, an Android application and a robot on the platform ROS (Robot operating system). A Myo armband has a form of a bracelet that is placed on a forearm and contains sensors such as a magnetometer, a gyroscope, an accelerometer and an EMG (electromyographic sensors for sensing muscle activity on which base certain gestures are recognized). The application is designed for controlling a mobile robot capable of moving forward, backward and veer based on gestures and movements of a hand on which a Myo armband is attached. For this purpose, the application reads the relevant data from a wearable device using Bluetooth LE (Low Energy), then evaluates them and sends control messages via Wi-Fi technology to a robot. The description of a robot is discussed in more detail further below. The usage of the application (which is the main contribution of the author) and a Myo armband enable to control a set of mobile robots driven by the Robotic operating system (ROS).

Klíčová slova

nositelná zařízení, aplikace nositelných zařízení, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Wi-fi, Myo náramek, robot na platformě ROS, Android aplikace, ovládání robota

Keywords

wearable devices, application of wearables, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Wi-fi, Myo armband, ROS driven robot, Android application, control robot

Citace

HEREC, Jan. *Nositelná zařízení: jejich možnosti a aplikace*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Samek Jan.

Nositelná zařízení: jejich možnosti a aplikace

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Jana Samka, Ph.D. Další informace mi poskytl Ing. Radim Luža. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Jan Herec
15. května 2016

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především mému vedoucímu práce Ing. Janu Samkovi, Ph.D. a také Ing. Radimu Lužovi a Ing. Jaroslavu Rozmanovi, Ph.D. za jejich odbornou pomoc. Na tomto místě bych chtěl také poděkovat Elišce Hercové a Tomáši Zvoníčkoví za jazykové korektury pravopisné, gramatické a stylistické.

© Jan Herec, 2016.

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

Obsah

1 Úvod	4
2 Nositelná zařízení	5
2.1 Historie	5
2.2 Rozhraní	13
2.2.1 Bluetooth a Bluetooth Low Energy	13
2.2.2 Wi-Fi	17
3 Možnosti aplikace	21
3.1 Současné možnosti a způsoby využití	21
3.1.1 Zdraví	21
3.1.2 Sport a životní styl	22
3.1.3 Zábava a nakupování	23
3.1.4 Monitorování osob	23
3.2 Budoucí trendy	25
4 Aplikace nositelných zařízení při ovládání robota	27
4.1 Architektura systému a jeho komponenty	28
4.1.1 Nositelné zařízení Myo armband	29
4.1.2 Robot na platformě ROS	31
4.1.3 Mobilní aplikace na platformě Android	34
4.2 Implementace	38
4.3 Způsob ovládání robota	40
4.3.1 Příprava k ovládání	40
4.3.2 Módy ovládání	40
4.4 Úvahy nad vytvořeným řešením	43
4.4.1 Testování a experimenty	43
4.4.2 Směr dalšího vývoje	43
4.4.3 Přidaná hodnota nad rámec zadání	43
5 Závěr	45
Literatura	46
Přílohy	57
Seznam příloh	58
A Obsah CD	59

Seznam obrázků

2.1	Miniaturizovaný abakus ze 17. století osazený na stříbrném prstenu (Zdroj: [130])	6
2.2	Pravděpodobně první nositelný počítač na světě z roku 1961. Autory jsou profesori matematiky Edward Thorp a Claude Shannon. (Zdroj: [107]) . . .	10
2.3	Obrázek srovnává tři náramkové hodinky s LED displejem a funkcí kalkulačky, které byly vyvinuty v 70. letech. Vpravo jsou první náramkové hodinky vyvinuty firmou Hamilton Watch Company pod značkou Pulsar v roce 1975. Uprostřed jsou náramkové hodinky HP-01 od Hewlett-Packard z roku 1977. Zcela vlevo se pak nacházejí hodinky CompuChron od Howard Hughes Corporation z roku 1976. (Zdroj: [15])	10
2.4	Hodinky Space Attacker od Nelsonic z roku 1981. Obrázek zobrazuje rozehranou hru Space Attackers.(Zdroj: [19])	11
2.5	Steve Mann a jeho nositelná bezdrátová kamera z roku 1994.(Zdroj: [58]) .	11
2.6	První plně digitální kardiostimulátor na světě z roku 2003 vyvinut firmou Vitatron. Slouží jako příklad implantovatelného nositelného zařízení. (Zdroj: [6])	12
2.7	Google Glass a popis jejich jednotlivých částí (Zdroj: [29])	12
2.8	Logo Bluetooth (Zdroj: [27])	13
2.9	Topologie piconet a scatternet sítí. Zdroj: [104]	15
2.10	Logo Bluetooth Smart (Zdroj: [40])	16
2.11	Loga související s technologií Wi-Fi.	18
2.12	Základní typy Wi-Fi sítí z hlediska jejich topologie. (Zdroj: [128])	20
3.1	Inteligentní prsní náplast iTBra. (Zdroj: [78])	22
3.2	Grafické porovnání fitness náramku FitBit Force (vpravo) a chytrých hodinek Galaxy Gear (vlevo). U fitness náramku vidíme menší displej pro jednoduché zobrazování informací, který odpovídá použití pro fitness. U chytrých hodinek vidíme mnohem větší dotykový displej, který umožňuje se zařízením pracovat mnoha způsoby včetně používání fitness funkcí. (Zdroj: [97]) . . .	22
3.3	Headset Samsung R322 Gear VR Lite pro virtuální realitu. (Zdroj: [117]) .	23
3.4	Zařízení KizON od LG pro sledování dětí. Na obrázku vypadají děti šťastné, ale dříve nebo později jim bude zasahovat do soukromí a budou se jej chtít zbavit. To je také v pořádku, od určitého věku je potřeba dát dětem prostor. (Zdroj: [109])	24
3.5	Zařízení iSwimband v různých formách.	25
3.6	Nositelný exoskeleton, který je vyvíjen výzkumníky z UC Berkley a má umožnit ochrnutým lidem znovu chodit. Na obrázku je Steven Sanchez, který ochrnl na nehodě na BMX. (Zdroj: [113])	26

4.1	Architektura systému (popisuje komponenty a způsob komunikace).	29
4.2	Nositelné zařízení Myo armband v tmavém provedení. (Zdroj: [22])	30
4.3	Základní gesta detekovatelná zařízením Myo armband. Zleva: <i>Fingers Spread</i> , <i>Fist</i> , <i>Double Tap</i> , <i>Wave Left</i> a <i>Wave Right</i> . (Zdroj: [22])	30
4.4	Pohyby v prostoru, které je schopné zařízení díky svým sensorům detekovat. Pohyby typu YAW a PITCH naše aplikace využívá pro ovládání robota. Více informací v kapitole 4.3. (Obrázek vytvořen na základě zdroje: [84])	31
4.5	Řídicí zpráva sestává ze dvou třísložkových vektorů [4]. První vektor před- stavuje lineární rychlost. V tomto vektoru nás zajímá pouze jeho složka v_x , která určuje lineární rychlost robota (jednotky m/s) v třírozměrném prostoru ve směru osy x . Robot se tak pohybuje dopředu (kladná hodnota v_x), nebo dozadu (záporná hodnota v_x). Druhý vektor představuje angulární rychlost. V tomto vektoru nás zajímá pouze jeho složka ω_z , která určuje angulární rychlost robota (jednotky rad/s) v třírozměrném prostoru kolem osy z . Ro- bot se tak otáčí doleva (kladná hodnota ω_z) nebo doprava (záporná hodnota ω_z).	33
4.6	Fakultní pojízdný robot s názvem Trilobot.	34
4.7	Aplikace na platformě Android, která řídí robota na základě dat z náramku Myo armband.	37
4.8	Základní mód, kdy je robot ovládán pomocí čtyř gest. (Obrázek vytvořen na základě zdroje: [22])	41
4.9	Pokročilý mód, který umožňuje ovládání pohybem ruky během jízdy vpřed nebo vzad. Robot tak může za jízdy zatáčet a zvyšovat/snižovat rychlost. (Obrázek vytvořen na základě zdrojů: [84, 22])	42
4.10	Experimentální mód šetří naše svaly, aby robot jel dopředu nebo dozadu, stačí provést gesto jedenkrát a není nutné jej držet po celou dobu pohybu. (Obrázek vytvořen na základě zdroje: [22])	42

Kapitola 1

Úvod

Tato práce se na teoretické úrovni zabývá koncepty nositelných zařízení, jejich kategorizací, možnostmi a využitím. Jsou zde nastíněny také související technologie. Snahou je poskytnout čtenáři základní orientaci v této problematice. Jedná se tedy spíše o úvod do světa nositelných zařízení, který není možno považovat za vyčerpávající. Je vhodné na něj nahlížet jako na zdroj esenciálních informací sloužící k vytvoření ucelené představy o problematice nositelných zařízení.

V praktické rovině se poté práce věnuje popisu autorem vytvořeného řešení, které demonstruje použití nositelných zařízení pro účely ovládání robotů. Řešení se skládá především z mobilní Android aplikace, která ve spolupráci s nositelným zařízením s názvem Myo armband, jenž je ve tvaru náramku, ovládá pojízdného robota poháněného Robotickým operačním systémem (ROS). Spolupráce mezi aplikací a nositelným zařízením probíhá ve formě čtení dat ze sensorů (gyroskop, akcelerometr, magnetometr, EMG pro snímání svalové aktivity) nositelného zařízení pomocí technologie Bluetooth Low Energy (LE). Data ze sensorů umožňují mobilní aplikaci rozpoznat pohyb, polohu a základní gesta ruky, na níž je nositelné zařízení ve tvaru náramku umístěno. Základní gesta ruky nicméně rozpoznává už samotné nositelné zařízení na základě dat ze sensorů EMG, takže aplikace vyhodnocování surových EMG dat řešit nemusí. Aplikace pak rozpoznané pohyby, polohy a gesta ruky převádí na odpovídající pohyb robota a to tak, že posílá pomocí technologie Wi-Fi robotovi řídicí zprávy, které v sobě nesou lineární a angulární rychlost robota. Vytvořené řešení a zejména mobilní aplikace, jakožto autorův přínos, tvoří druhou významnou složku, respektive část této práce.

Nositelná zařízení jsou v dnešní době žhavým tématem a zažívají velký rozmach. Jejich podíl na trhu se každým rokem zvyšuje, což odpovídá stále rostoucí poptávce. Stejně tak jsou stále vymyšleny nové způsoby jejich aplikace. Mohou být pouhým módním doplňkem, sloužit k zábavě, usnadnění práce a mnohým jiným praktickým činnostem. O základních konceptech těchto zařízení a jejich kategorizaci pomáhá vytvořit představu kapitola 2. V kapitole 3 jsou přestaveny možnosti využití nositelných zařízení, včetně možných budoucích využití. Kapitola 4 pak popisuje vytvořené řešení, které demonstruje použití nositelných zařízení pro účely ovládání robota a je prakticky použitelné. Toto řešení představuje hlavní autorův přínos v rámci práce. V kapitole 5 je provedeno shrnutí poznatků a dosažených výsledků teoretické i praktické části práce.

Kapitola 2

Nositelná zařízení

Tato kapitola se zabývá problematikou nositelných zařízení z hlediska jejich konceptů, kategorizace a souvisejících technologií. Možnosti využití budou představeny v následující kapitole.

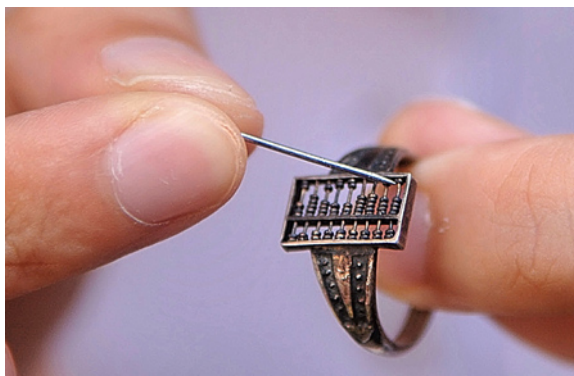
Nositelná zařízení (v angličtině také wearable devices nebo jen wearables, v češtině také nositelná elektronika) jsou elektronická zařízení navržená tak, aby je člověk mohl nosit na svém těle. Tato zařízení mohou být ve formě doplňku, který je možné upevnit na tělo, respektive jeho část, a nebo mohou být součástí oblečení. Nejedná se o přenositelná zařízení (možno nosit v kapse, držet v ruce, apod.), která obvykle nejsou primárně určena k uchycení na tělo. [24][20] Nositelná zařízení současné generace jsou charakteristická tím, že se jedná o digitální systémy, které obsahují zabudované senzory a jsou schopny komunikovat bezdrátově s jinými zařízeními. [2]

Někdy jsou jako součástí konceptu nositelných zařízení označovány i implantovatelná zařízení [101]. Tato se od nositelných zařízení, jak jsou běžně chápána, liší především ve způsobu připevnění na tělo, kdy jsou obvykle implantována přímo do těla (např. pod kůži ale i hlouběji). Stávají se tak nedílnou součástí člověka, který je nosí. Tyto značně miniaturizovaná zařízení jsou přitom stále schopna bezdrátové komunikace a to např. pomocí technologií RFID, respektive NFC. [122] Existují také koncepty nositelných zařízení, která jsou částečně implantovatelná a u nichž ani není požadavek na bezdrátovou komunikaci. Jedním ze zástupců tohoto konceptu mohou být např. chytré kontaktní čočky, které kromě korekce očních vad slouží pro hlídání pacientů s cukrovkou [127]. Potenciál nositelných zařízení a technologií s nimi spojených je do budoucna velký. Zvláště co se týče kategorie implantovatelných zařízení, která zatím v současné době nejsou výrazně rozšířená (mít čip pod kůži každého nepřitahuje a jeho samotná implantace se musí provést odborně). Tato kategorie a stejně tak kategorie nositelných zařízení, které neumožňují bezdrátovou komunikaci, jsou okrajové v celém spektru nositelných zařízení současné generace a další části práce se jí proto příliš věnovat nebudou. S výjimkou kapitoly 3.2, ve které je žádoucí zaobírat se budoucími trendy.

2.1 Historie

Vznik a vývoj nositelných zařízení je do velké míry navázán na pokrok ve výpočetních technologiích. Velkou roli zde hraje především miniaturizace výpočetních systémů a vznik nových technologií. Samotná historie nositelných zařízení se začala psát v šedesátých letech 20. století. Nositelná zařízení měla i své předchůdce. Tito nejsou považováni za nositelná

zařízení v dnešním slova smyslu a to především kvůli jejich mechanické a nikoliv elektronické povaze. Uvedme např. Norimberské vejce, což byly pružinou poháněné hodinky určené k nošení kolem krku. Byly vytvořené začátkem 16. století v Norimberku a jejich autorem byl Peter Henlein. [52][83] Jiným zajímavým zařízením byl miniaturizovaný abakus osazený na stříbrném prstenu. Byl vytvořen v 17. století v Číně a jeho rozměry jsou 1,2 cm krát 0,7 cm. [83][115] Tento abakus je zobrazen na obrázku 2.1. Předchůdců nositelných zařízení bylo podstatně více, pro základní představu nám však stačí uvedení alespoň dvou výše zmíněných.



Obrázek 2.1: Miniaturizovaný abakus ze 17. století osazený na stříbrném prstenu (Zdroj: [130])

V bodech si nyní uvedme chronologicky data vzniku různých nositelných zařízení. A to v časovém období od šedesátých let 20. století, kdy se začala psát historie nositelných zařízení, až po současnost. Jedná se o průřez, nikoliv vyčerpávající seznam.

- **1961** – V tomto roce zkonstruovali profesori matematiky Edward Thorp a Claude Shannon, kteří působili na MIT, zařízení, které je považováno za první nositelný počítač na světě [118][83]. Z tohoto důvodu mu zde bude věnováno trochu více prostoru. Zařízení sloužilo pro zvýšení pravděpodobnosti výhry v ruletě a to pomocí odhadu místa, ve kterém přistane kulička. V těchto odhadech bylo relativně přesné.

Zařízení (viz obrázek 2.2), bylo připoutáno k pasu hráče. Od něj vedly dále vodiče do bot, ze kterých byl získáván vstup při klepnutí botou. Vstupy vzorkovaly určité časové okamžiky při rotaci kuličky v roztočené ruletě. Zařízení pomocí počítače o 12 tranzistorůch vstupy zpracovalo a vyhodnotilo možné místo přistání kuličky. Výstupem byly tóny ve sluchátkách hráče, které charakterizovaly pravděpodobné místo přistání. Tyto byly opět pomocí vodiče spojeny s hlavním výpočetním systémem zařízení umístěným u pasu. Achillovou patou celého systému byly samotné vodiče, které sice bylo možné maskovat, ale byly náchylné na zlomení.

Na svoji dobu se jednalo o inovativní zařízení, se kterým bylo spíše experimentováno v rámci laboratoří než v praxi v kasínech. První výlet obou matematiků do Las Vegas, kde bylo zařízení vyzkoušeno v praxi, byl zároveň i posledním a zařízení skončilo ve sbírce muzea MIT. [118] Profesor Thorp později v roce 1966 své výsledky publikoval v druhém vydání populární knihy *Beat the Dealer*. Informace k této odrážce byly čerpány z [106].

- **1972** – Podobné zařízení, jaké zkonstruovali profesori Edward Thorp a Claude Shannon, vytvořil o 11 let později Keith Taft, který byl fascinován knihou *Beat the Dealer*

od Edwarda Thorpa [83][86]. Toto nositelné zařízení, respektive počítač pojmenoval jako *George*. Tentokrát bylo cílem zařízení zvýšit pravděpodobnost výhry v karetní hře blackjack. Počítač, který tvořil jádro zařízení, vážil celých 15 liber, což je v přepočtu 6,8 kg. Byl připoután k pasu a mohl být ovládal pomocí prstů na nohou, kterými se zadávaly vstupy. [83]

Jeho zařízení však nebylo příliš spolehlivé a při jednom víkendu jej připravilo o 4,000 \$. Tímto neúspěchem byl také ukončen tento projekt. [83] Za zmínku také stojí to, že jej vyšetřovala kvůli možnému podvodu FBI, ale v dané době nebylo používání výpočetních zařízení pro zvýšení pravděpodobnosti výhry ilegální. Po mnohem masovějším nárůstu používání podobných zařízení byl např. ve státě Nevada až v roce 1986 vytvořen zákon postihující podobné praktiky až 10 lety vězení. [86]

Můžeme tedy říci, že začátky nositelných zařízení jsou spjaty se snahou podvádět u hazardních her, kdy za tímto účelem bylo potřeba nosit na těle výpočetní systémy skrytým způsobem.

- **1975** – Firma *Hamilton Watch Company* vytvořila pod značkou Pulsar první náramkové hodinky s LED displejem, které zároveň sloužily jako kalkulačka [57]. Tlačítka pro ovládání a zadávání vstupů byly tak malé, že je bylo nutné ovládat pomocí dotykového pera [102]. Prodejní slogan těchto hodinek zněl: „For the man who had everything until just now...“ [62]. První verze hodinek byla vyrobena z 18karátového ryzího zlata a prodávala se v limitované edici 100 kusů s cenou 3950 \$ [16]. Zaznamenala velký úspěch a údajně o ně vyjádřil zájem i tehdejší americký prezident Gerald Ford, což spustilo mediální bouři. Ten později uvedl, že se jednalo o žert [102]. Reklama to ovšem byla nemalá. Kvůli úspěchu byla o několik měsíců později uvedena na trh verze hodinek z nerezové oceli, která stála 550 \$ a byla tak dostupná pro širší veřejnost. [16].
- **1976, 1977** – Na úspěch hodinek Pulsar se snažily navázat další firmy s jejich modely hodinek. V roce 1976 byly vyvinuty hodinky CompuChron od Howard Hughes Corporation. Tyto hodinky byly levnějším konkurentem k hodinkám Pulsar a také nabízely méně funkcí. Tlačítka byla o poznání větší, takže je bylo možné ovládat i pomocí nehtu. Tyto hodinky se později objevily ve sci-fi televizním seriálu *Battlestar Galactica* z roku 1978. Díky tomu jsou hodinky oblíbené u sběratelů. [13]

Dalším modelem hodinek byl HP-01 od Hewlett-Packard z roku 1977. Na rozdíl od svých předchůdců byl nejpokročilejší a použitelný téměř pro vědecké výpočty. Nabízel také budík, časovač a stopky. Exponovaná tlačítka bylo možné ovládat pomocí nehtu, zatímco ty méně exponovaná byla natolik malá, že se jejich použití bez dotykového pera neobešlo. Modely zařízení byly vyrobeny v limitované edici a mají tak velkou sběratelskou hodnotu. [14]

Srovnání všech tří hodinek, vyvinutých v 70. letech, přináší obrázek 2.3.

- **1981** – V roce 1981 byly vytvořeny jedny z prvních herních hodinek Space Attacker od Nelsonic. Hodinky měly LCD displej, můžeme si tak povšimnout posunu od LED displejů, kterými byly vybaveny hodinky v 70. letech. [19] Zajímavostí těchto hodinek byla možnost si na nich zahrát hru *Space Attackers*, která byla ve stylu „vesmírné střílečky“. [83] Jednalo se tak o jedno z prvních nositelných zařízení, které sloužilo i pro zábavu. Pohled na zařízení při spuštění hry zobrazuje obrázek 2.4.

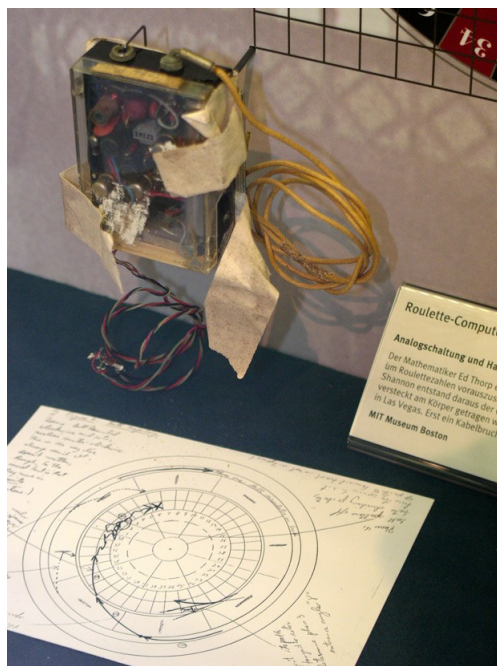
- **1984** – Byly vytvořené jedny z prvních digitálních hodinek Databank CD-40 od Casio s LCD displejem, které umožňovaly ukládat data. Konkrétně umožňovaly uchovat 10 skupin po 16 písmenech nebo číslicích, což se dalo např. využít jako menší telefonní seznam. Samozřejmostí byla i funkce kalkulačky, budíku a časovače. Produkt se stal hitem a celkově bylo prodáno 6 milionů kusů do pěti let od jeho vydání. Tlačítka byla možné ovládat prstem, nebylo potřeba dotykové pero. [34][18]
 - **1987** – Bylo vytvořeno první komerční digitální naslouchátko. Již dříve v roce 1982 bylo vytvořeno digitální naslouchátko na *City University of New York*, které bylo ovšem příliš těžké a bylo nemožné se s ním pohybovat, takže nemůže být považováno za nositelné zařízení (které by naopak mělo být nositelné bez větších obtíží). Toto naslouchátko z roku 1982 bylo vyvinuto *Nicolet Corporation*, ale nebylo příliš úspěšné. Zejména kvůli stále nepraktické velikosti a slabým bateriím. Zařízení sestávalo z procesoru, který byl nošen na těle a byl pomocí drátů spojen se snímačem v uchu. Naslouchátko, i když nebylo komerčně příliš úspěšné, spustilo soutěž mezi firmami, které se snažily vytvořit použitelnější verzi naslouchátka. [102][47] Podobně jako hodinky Pulsar jej tak lze považovat za průkopníka ve svém oboru.
 - **1994** – Steve Mann, jeden z nejznámějších průkopníků v oblasti nositelných zařízení a souvisejících technologií [53], vyvinul nositelnou bezdrátovou kameru (viz obrázek 2.5). Tato analogová kamera byla připevněna na hlavu a bezdrátově vysílala obrázky na základovou stanici, která je zpracovala a nahrála na web. Tento proces probíhal takřka v reálném čase. Steve Mann takto dokumentoval svůj denodenní život až do roku 1996. [102][114]
 - **1998** - Vznikla speciální zájmová skupina Special Interest Group (SIG), jejíž zakládající členové byly společnosti Ericsson, Nokia, Intel, Toshiba a IBM. Na konci roku měla již celkově 400 členů. Tato skupina stála za vznikem koncepce Bluetooth a všemi jeho pozdějšími specifikacemi. Právě bezdrátová technologie Bluetooth měla později velký vliv na vývoj nositelných zařízení. [120][35]
 - **2002, 2003** – První Bluetooth headset HDW-1 od Nokia pro handsfree volání byl plánován pro masovou výrobu na rok 2002, přičemž jeho koncept vznikl již v roce 1997. V tomto případě se však nepodařilo dotáhnout celý proces vývoje do konce. Úspěšný byl až o rok později model HDW-2, který se již dostal ke koncovým zákazníkům. Jedná se tak o jeden z prvních případů nositelného zařízení, na kterém je vidět, jak byl ovlivněn technologií Bluetooth. [102]
- V roce 2003 byl také vyvinut první plně digitální kardiostimulátor na světě firmou Vitatron (viz obrázek 2.6) [102]. Jedná se o příklad implantovatelného nositelného zařízení, které slouží pro lékařské účely. Konkrétně slouží k léčbě poruch srdečního rytmu za pomoci elektrických výbojů, které způsobují srdeční kontrakci s určitou frekvencí [66]. Stimulátor umožňuje snadné naprogramování, aby bylo možné dosáhnout optimální frekvence stimulace pro každého pacienta. Stejně tak zařízení sbírá diagnostická data související se srdečním rytmem, které je možné stáhnout a dále analyzovat. [95]
- **2006** – Společnosti Nike a Apple přišly s revoluční technologií *Nike+*, která se uplatní především pro sportovní účely. Základem je malý senzor, který se umístí do boty, která je kompatibilní s touto technologií. Tento senzor měří např. čas, rychlost, uběhlou vzdálenost, které může bezdrátově odesílat do kompatibilních zařízení jako iPod,

iPhone a náramku SportBand, kde se v reálném čase zaznamenávají. Na trhu se tak objevuje zástupce nového typu nositelných zařízení pro sportovní účely. [10][17]

- **2012** – Na konferenci Google I/O byly představeny Google Glass (viz obrázek 2.7), což jsou brýle s počítačem a tzv. head-up displejem (HUD), který nahrazuje čočky. Počítač umístěný v brýlích běží na operačním systému Android. Brýle samotné spadají do kategorie nositelných zařízení pro rozšířenou realitu. Ovládání brýlí je možné pomocí hlasu nebo touchpadu. Brýle nabízejí kameru se kterou je možné natáčet video o rozlišení až 720p, také obsahují senzory jako gyroskop, akcelerometr, magnetometr a technologie jako Bluetooth, Wifi, GPS a umožňují i volání a přijímání sms. Vzbudily velký zájem veřejnosti i médií. Časopisem Time byly ve stejném roce vyhlášeny jako jeden z nejlepších vynálezů roku. Brýle byly dostupné pouze omezenému počtu lidí, přihlášených do programu Explorer, kteří navíc za ně museli zaplatit částku kolem 1500 \$ (pro rok 2013). Později v roce 2015 byla ukončena experimentální fáze a byl ohlášen přesun vývoje do vlastní divize. [99][100][64]
- **2014** – Na konferenci Google I/O byla představena platforma Android Wear a chytré hodinky (tzv. smartwatch) LG G Watch a Samsung Gear Live, které jsou na této platformě postaveny. Android Wear je upravená verze operačního systému Android od Google, která je určena pro chytré hodinky a podobná nositelná zařízení jako chytré fitness náramky aj. O několik měsíců později představila Motorola chytré hodinky Moto 360, které jsou také postaveny na Android Wear. Později ve stejném roce Apple představil svou verzi chytrých hodinek Apple Watch s operačním systémem WatchOs, které se začaly prodávat v roce 2015. [43] Chytré hodinky patří v rámci nositelných zařízení do kategorie zábavy a životního stylu a za tímto účelem obsahují pokročilou HW výbavu, kde kromě výpočetních prostředků nalezneme také řadu senzorů, GPS, Wifi, Bluetooth a další pokročilé technologie. Nejlépe se uplatní při synchronizaci s mobilními zařízeními, kdy lze přijímat nejrůznější notifikace, uskutečňovat hovory a také instalovat nové aplikace.

Rok 2014 tak přinesl novou generaci hodinek s operačním systémem, pro než se vžil název chytré hodinky, a které tvoří významnou kategorii v rámci nositelných zařízení.

Toto byl tedy průřez historií nositelných zařízení se zaměřením na ty významnější a zajímavější exempláře.



Obrázek 2.2: Pravděpodobně první nositelný počítač na světě z roku 1961. Autory jsou profesori matematiky Edward Thorp a Claude Shannon. (Zdroj: [107])



Obrázek 2.3: Obrázek srovnává tři náramkové hodinky s LED displejem a funkcí kalkulačky, které byly vyvinuty v 70. letech. Vpravo jsou první náramkové hodinky vyvinuty firmou Hamilton Watch Company pod značkou Pulsar v roce 1975. Uprostřed jsou náramkové hodinky HP-01 od Hewlett-Packard z roku 1977. Zcela vlevo se pak nacházejí hodinky CompuChron od Howard Hughes Corporation z roku 1976. (Zdroj: [15])



Obrázek 2.4: Hodinky Space Attacker od Nelsonic z roku 1981. Obrázek zobrazuje rozehranou hru Space Attackers. (Zdroj: [19])



Obrázek 2.5: Steve Mann a jeho nositelná bezdrátová kamera z roku 1994. (Zdroj: [58])



Obrázek 2.6: První plně digitální kardiostimulátor na světě z roku 2003 vyvinut firmou Vitatron. Slouží jako příklad implantovatelného nositelného zařízení. (Zdroj: [6])



Google Glass: Hardware



Obrázek 2.7: Google Glass a popis jejich jednotlivých částí (Zdroj: [29])

2.2 Rozhraní

Schopnost bezdrátově komunikovat s jinými elektronickými zařízeními je charakteristická pro současná nositelná zařízení. Tato podkapitola slouží k vysvětlení technických aspektů komunikace nositelných zařízení s jinými zařízeními jako mobilní zařízení, počítače nebo jiná nositelná zařízení. Budeme se zde zabývat rozhraními pro bezdrátovou komunikaci jako Bluetooth, respektive Bluetooth Low Energy a WiFi, která jsou u dnešních nositelných zařízení nejrozšířenější. Nositelná zařízení mohou být ale vybavena i dalšími rozhraními jako např. GPS, GSM/LTE a NFC.

2.2.1 Bluetooth a Bluetooth Low Energy

V této kapitole bylo čerpáno z následujících zdrojů: [63, 67, 48, 35, 40, 5, 121, 112, 36, 70, 77, 75, 98, 110, 88, 94, 124].

Bluetooth je technologie, resp. standard pro bezdrátovou komunikaci na krátké vzdálenosti. Logo technologie ukazuje obrázek 2.8. Tuto technologii řadíme do tzv. WPAN (wireless personal area network), tedy kategorie bezdrátové osobní počítačové sítě právě z důvodu kratšího dosahu, který se pohybuje v jednotkách až desítkách metrů. Bluetooth architektura se skládá z několika nezávislých vrstev, které tvoří hardwarový a softwarový framework. Softwarový framework sestává ze zásobníku protokolů vyšší úrovně, zatímco hardwarový framework sestává z vrstev zajišťujících rádiovou komunikaci, digitální zpracování signálu a obecně z firmwaru a protokolů nižší úrovně. Také zahrnuje HCI (Host Controller Interface) vrstvu která tvoří komunikační rozhraní mezi vrstvami hardwarového frameworku a vrstvami softwarového frameworku. Zjednodušeně řečeno – vrstvy softwarového frameworku implementuje OS hostitelského počítače a vrstvy hardwarového frameworku implementuje Bluetooth adaptér.



Obrázek 2.8: Logo Bluetooth (Zdroj: [27])

Počátky Bluetooth sahají do roku 1994, kdy vznikl jeho koncept ve firmě Ericson. Byl zamýšlen jako bezdrátová alternativa k přenosům dat pomocí datových kabelů mezi elektronickými zařízeními na krátké vzdálenosti. V této době ještě nenesl tento koncept jméno Bluetooth. Toto pojmenování vzniklo až v souvislosti se vznikem Special Interest Group (SIG) v roce 1998. Tato skupina vznikla za účelem vývoje specifikace technologie Bluetooth a jejího prosazení jako průmyslového standardu, čímž by byla odbourána nekompatibilita mezi zařízeními s různými rozhraními. S tím se spojen i samotný název Bluetooth, jenž se odkazuje na dánského krále se jménem Harold Bluetooth, který v 10. století sjednotil válčící kmeny na území dnešní Skandinávie. Toto bylo i ambicí Bluetooth technologie – stát se standardem, který umožní propojení různých zařízení. Zakládajících členů bylo pět a byly mezi nimi společnosti Ericsson, Nokia, Intel, Toshiba a IBM. Ve stejném roce měla SIG celkově 400 členů. Dnes v roce 2015 má SIG více jak 27 000 členů a od verze Bluetooth 1.0 jsme se posunuli k verzi 4.2. Od založení SIG a vytvoření Bluetooth specifikace tak došlo k masovému rozšíření této technologie a původní cíl, kvůli kterému vznikla SIG, byl naplněn – Bluetooth se stal průmyslovým standardem a odstranil nekompatibilitu mezi komunikačními rozhraními u elektronických zařízení. Role SIG (nevýdělečné organizace) je od

založení stále stejná – je správcem technologie Bluetooth, který dohlíží na vývoj standardů a specifikace, a vlastní licenci a obchodní značku Bluetooth.

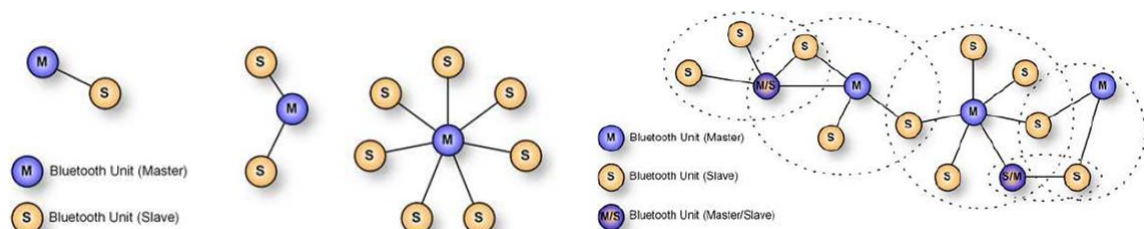
Nastínili jsme si okolnosti vzniku Bluetooth, nyní si popíšeme vývoj této technologie v časové ose z hlediska verzí schválených SIG.

- **1999, Bluetooth 1.0, 1.0a, 1.0b** – V1.0 představuje první návrh Bluetooth standardu, přičemž v1.0a je první skutečně publikovaný standard/specifikace. V1.0b pak přináší některá další vylepšení a opravu chyb. Všechny tyto verze obsahovaly řadu chyb a problémů a tak nebyly v praxi příliš použitelné.
- **2002, Bluetooth 1.1** – Opraveno mnoho chyb z předcházejících verzí. Přidána např. podpora pro ukazatel síly signálu nebo tzv. pikosítě. Jedná se o první skutečně použitelnou verzi zajišťující požadovanou interoperabilitu různých zařízení od různých výrobců.
- **2003, Bluetooth 1.2** – Přináší FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), což je metoda přenosu, která je odolnější vůči rušení. Také umožňuje dosáhnout vyšší teoretické přenosové rychlosti 721 kbit/s a rychlejšího vytvoření spojení.
- **2004, Bluetooth 2.0** – Rozšiřuje předchozí standardy a technologii EDC (Enhanced Data Rate), která umožňuje dosáhnout teoretické rychlosti 3 Mbit/s a která navíc umožňuje snížit spotřebu energie.
- **2007, Bluetooth 2.1** – Přichází s SSP (Secure Simple Pairing), což je technika pro snadnější a bezpečnější párování zařízení.
- **2009, Bluetooth 3.0** – Umožňuje dosáhnout teoretické rychlosti 24 Mbit/s a to díky přenosu dat pomocí standardu IEEE 802.11. Tato podpora vysokorychlostního přenosu je však nepovinná.
- **2010, Bluetooth 4.0** – Povinná podpora vysokorychlostního přenosu 24 Mbit/s. Do standardu Bluetooth je také přidána specifikace technologie Bluetooth LE, která je v mnoha ohledech diametrálně odlišná od klasické technologie Bluetooth. Je zaměřená na nízkou spotřebu energie, není však vhodná pro velké datové přenosy.
- **2013, Bluetooth 4.1** – Přichází s novými vylepšeními, která nevyžadují změnu hardwaru, ale týkají se pouze softwaru.
- **2014, Bluetooth 4.2** – Přichází s novými vylepšeními, která vyžadují změnu hardwaru.

V Bluetooth technologii jsou data posílána ve formě paketů. Pro přenos jsou využity rádiové vlny v nelicencovaném frekvenčním pásmu ISM (Industrial Scientific Medicine), které je zdola ohraničené frekvencí 2400 MHz a shora frekvencí 2483,5 MHz. Kvůli minimalizaci rušení od jiných vysílačů pracujících v pásmu ISM je k přenosu dat využita metoda AFH (adaptive frequency hopping). Ta spočívá ve využití 79 kanálů pro přenos, kde každý kanál zabírá šířku pásma 1 MHz. Za jednu sekundu dojde celkově k 1600 pseudonáhodným přeladěním na jiný kanál, přičemž se zařízení vyhýbají kanálům, které jsou rušené např. jinými bezdrátovými technologiemi. Celkově tak vysílaná data relativně rovnoměrně využívají celou šířku pásma ISM a nejsou náchylné k rušení na určité frekvenci. Co se týče energie vysílání, tak zařízení implementující technologii Bluetooth může spadat do některé z výkonnostních tříd. *Třída 3* má energii vysílání 1 mW, což odpovídá dosahu přibližně

1 m a dnes není příliš používaná. *Třída 2* má energii vysílání 2,5 mW, což odpovídá dosahu přibližně 10 m a právě zařízení spadající do této třídy tvoří většinu dnešních mobilních a nositelných zařízení. Nejvyšší *třída 1* má energii vysílání 10 mW, což odpovídá přibližně dosahu 100 m a je vyhrazena pro průmyslové účely.

Komunikace mezi zařízeními v Bluetooth protokolu má podobu modelu master-slave, kdy zařízení typu master řídí tok dat v rámci komunikace se zařízeními typu slave. Samotná komunikace probíhá v tzv. piconet (pikosít), což je speciální druh ad-hoc WPAN sítě, ve které probíhá mezi zařízeními komunikace pomocí Bluetooth protokolu. Pojem ad-hoc zde označuje spojení, které je zahájeno a ukončeno jedním Bluetooth zařízením, které vystupuje jako master. V piconet je tedy jedno zařízení typu master, ke kterému lze připojit až 7 zařízení typu slave. Celkově tak v piconet může být maximálně 8 zařízení. Mezi zařízením typu master a slave může komunikace probíhat jako half-duplex i jako full-duplex. Master iniciuje ad-hoc spojení se zařízeními typu slave. Pro detekci sousedního zařízení a navázání spojení je vyhrazeno 32 z 79 možných kanálů. Také koordinuje komunikaci v pikosíti a to tak, že informuje k němu připojená zařízení typu slave, kdy mohou vysílat data a kdy ne, přičemž on sám může kdykoliv (pokud komunikace není typu half-duplex a nedal prostor jinému zařízení slave) zasílat data jakémukoliv zařízením typu slave. Nakonec zařízení typu master zajišťuje synchronizaci způsobu přeladování mezi kanály pro danou pikosít. Zařízení typu slave mohou být v rámci pikosítě připojeny pouze k jednomu zařízení typu master do tzv. hvězdicové topologie a nemohou komunikovat mezi sebou navzájem. Se zařízením typu master mají synchronizované hodiny. Role se mohou dle potřeby průběžně měnit. Zařízení jsou při přihlašování do sítě identifikována pomocí své 48bitové adresy, což je obdoba MAC adresy. Po přihlášení obdrží 3bitovou adresu, pomocí které jsou v rámci sítě adresovatelná (proto jen 8 zařízení v piconet). Bluetooth specifikace také umožňuje spojovat piconet sítě do tzv. scatternet sítí, kde pak určitá zařízení mají roli master v jedné piconet a v jiné mají roli slave. Obrázky 2.9a a 2.9b zobrazují topologie piconet a scatternet ad-hoc sítí.



(a) Ukázky různých piconet sítí

(b) Ukázka spojení piconet sítí do scatternet sítě

Obrázek 2.9: Topologie piconet a scatternet sítí. Zdroj: [104]

Kromě popisu architektury a jejích vrstev se Bluetooth specifikace zabývá tzv. profily. Každé zařízení, které implementuje technologii Bluetooth, musí být schopné interpretovat určitou sadu profilů. Bluetooth profily specifikují metody použití Bluetooth technologie za účelem zvládnutí úloh na vyšší úrovni. Definují standardní způsob jakým provést úlohy jako např. přenos souborů, přehrávání hudby nebo použití tiskárny. To, jaké profily Bluetooth zařízení podporuje, určuje jeho chování, respektive služby které nabízí a scénáře jejich použití. Pokud dvě zařízení neimplementují stejný profil, nemohou spolu komunikovat. Každý profil musí obsahovat minimálně následující informace:

- Závislost na jiných profilech.

- Formáty uživatelského rozhraní.
- Části zásobníku Bluetooth architektury, které daný profil používá.

Pro nositelná zařízení přichází v úvahu např. následující profily (možných profilů, které mohou být nositelnými zařízeními použity, je mnohem více):

- **HDP, Health Device Profile** – Využití zařízení pro Fitness a zdravotní účely. Např. bezdrátové vysílání navzorkovaných dat z biosenzorů nositelného zařízení do mobilního zařízení. [31].
- **HSP, Headset Profile** – Využití zařízení jako headsetu. Používá se pokud chceme např. headset propojit bezdrátově s mobilním zařízením. [30]

Bluetooth jako technologie pro bezdrátovou komunikaci má také své limity. Níže jsou uvedena některá omezení (spíše pro zajímavost), která nemusí být z doposud uvedených informací o této technologii patrna:

- Bluetooth zařízení např. nemůže samo od sebe oznámit svou přítomnost, může se jen dotázat na přítomnost okolních zařízení a tyto mohou na jeho dotaz reagovat.
- Není také možné určit Bluetooth adresu zařízení, které se dotazuje na přítomnost okolních zařízení, protože tuto svou identifikaci spolu s dotazem neposílá.
- V Bluetooth technologii není příliš podporovaná komunikace typu broadcast. Pouze zařízení typu master může poslat v dané pikosíti zprávu typu broadcast všem svým slave zařízením. Jiný rámec pro posílání broadcast zpráv okolním zařízením není.

Bluetooth Low Energy

Technologie Bluetooth LE, jinak také Bluetooth Smart (viz logo 2.10), se dnes uplatňuje u nositelných zařízeních mnohem více než klasická technologie Bluetooth. A to díky nízké energetické náročnosti (u Bluetooth je spotřeba energie přibližně 1 W, zatímco u Bluetooth LE se tato spotřeba pohybuje zhruba v rozmezí 0,01-5 W) a velkému dosahu, který činí více jak 100 m. Podpora pro tuto technologii byla přidána do standardu Bluetooth 4.0 v roce 2010. Samotný koncept Bluetooth Smart má původ ve společnosti Nokia, kde byl představen v roce 2006 pod jménem Wibree. Technologie Bluetooth Smart není zpětně kompatibilní s klasickým Bluetooth, nicméně specifikace Bluetooth 4.0 umožňuje jejich vzájemnou koexistenci. Pokud zařízení obsahuje podporu pro Bluetooth Smart, i klasický Bluetooth je označováno jako Smart Ready, pokud je označeno značkou Bluetooth Smart, podporuje pouze technologii Bluetooth Low Energy a nikoliv Bluetooth.



Obrázek 2.10: Logo Bluetooth Smart (Zdroj: [40])

Co se týká technických aspektů Bluetooth LE, tato technologie taktéž využívá rádiové vlny ve frekvenčním pásmu ISM s podobným principem přeladování kanálů jako u klasického Bluetooth. Na rozdíl od technologie Bluetooth ale využívá pro přenos 40 kanálů s pásmovým rozsahem 2 MHz. Komunikační dosah je více jak 100 m. Teoretická rychlost přenosu je 1 Mbit/s.

Co se týče topologie, u Bluetooth LE je počet zařízení v síti piconet značně navýšen. U klasického Bluetooth měly zařízení v piconet 3bitovou adresu a maximálně jich tak mohlo být v tomto piconet 8 – tedy k jednomu zařízení typu master mohlo být připojeno maximálně 7 zařízení typu slave. U Bluetooth LE mají zařízení v piconet 24bitovou adresu, což znamená přibližně 16 miliónů možných zařízení v piconet a stejný počet zařízení typu slave, která mohou být připojena k centrálnímu zařízení typu master. Číslo je tak velké, že v praxi pro nás vlastně žádné omezení představovat nebude. [60]

Bluetooth LE má oproti klasickému Bluetooth také jinou sadu profilů, které jsou založeny na tzv. GATT (Generic Attribute Profile) architektuře. Uvedme si opět pár příkladů profilů, které mohou být využity u nositelných zařízení.

- **HRP, Heart Rate Profile** – Využití zařízení pro bezdrátové vysílání dat o tepové frekvenci získané ze senzorů zařízení. [32].
- **HOGP, HID Over GATT Profile** – Definuje a umožňuje komunikaci mezi BLE zařízeními (např. chytré hodinky, fitness náramek) a hostitelským zařízeními jako mobil, notebook apod. [33]

Technologie Bluetooth LE je vhodná pro občasné nebo periodické přenosy malých množství dat (ideální pro přenos dat ze senzorů nositelných zařízení). Není ale vhodné ji použít např. pro streamování dat, kde klasická technologie Bluetooth má lepší parametry propustnosti.

2.2.2 Wi-Fi

V této kapitole bylo čerpáno z následujících zdrojů: [69, 65, 68, 45, 50, 74, 37, 79, 54, 126, 124, 105].

Wi-Fi je technologie, respektive obchodní značka, která označuje rodinu standardů IEEE 802.11 pro bezdrátovou komunikaci na krátké a střední vzdálenosti. Tuto technologii řadíme do tzv. WLAN (wireless local area network), tedy kategorie bezdrátové lokální počítačové sítě. Dále budeme pojem Wi-Fi používat především ve smyslu WLAN založené na standardech IEEE 802.11. Dosah komunikace pomocí Wi-Fi se pohybuje v řádu desítek až stovek metrů v závislosti na prostředí. Standardy IEEE 802.11, ze kterých technologie vychází popisují architekturu bezdrátové komunikace z hlediska linkové a fyzické vrstvy a jejich souvisejících protokolů. Na rozdíl o technologie Bluetooth tak technologie Wi-Fi neřeší vyšší vrstvy v rámci bezdrátové komunikace. Oproti Bluetooth a Bluetooth LE má Wi-Fi také větší energetickou náročnost, nicméně umožňuje rychlejší přenos dat a to i na větší vzdálenosti.

Technologii, respektive obchodní značku Wi-Fi, spravuje nezisková organizace Wi-Fi Alliance, která byla založena v roce 1999 několika firmami. Cílem bylo zajistit interoperabilitu mezi zařízeními, která implementovala standardy IEEE 802.11. V současné době tvoří členskou základnu této organizace přes 600 společností. Organizace je vlastníkem obchodní značky Wi-Fi a produktům, které implementují tuto technologii na základě testování

jejich interoperability s jinými Wi-Fi produkty, udílí Wi-Fi certifikaci. Tato certifikace informuje potenciálního zákazníka produktu o jeho schopnosti interoperability s jinými Wi-Fi produkty. Logo Wi-Fi Alliance zobrazuje obrázek 2.11a a logo Wi-Fi certifikace vydávané touto organizací zobrazuje obrázek 2.11b



(a) Logo neziskové organizace Wi-Fi Alliance, která vlastní ochrannou známku Wi-Fi a poskytuje certifikaci produktům implementující tuto technologii (Zdroj: [51])



(b) Logo udělované organizací Wi-Fi Alliance, které označuje certifikovaný produkt schopný interoperability s jinými Wi-Fi produkty. (Zdroj: [38])

Obrázek 2.11: Loga související s technologií Wi-Fi.

Wi-Fi existuje ve více variantách, které odpovídají standardům IEEE 802.11. Vznik těchto standardů z hlediska vydaných verzí a jejich přenosových charakteristik zobrazuje tabulka 2.1. Všechny standardy využívají pro komunikaci rádiové vlny, avšak se liší použitými frekvencemi. Standardy IEEE 802.11b/g/n pracují ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz (rozsah 2,412–2,484 GHz), které přibližně odpovídá pásmu IMS. Standardy 802.11a/n pracují ve frekvenčním pásmu 5 GHz (rozsah 5,180–5,700 GHz). Celý jeho rozsah ale není možné v řadě zemí používat, nebo se na něj vztahují různá omezení. Díky vyšší vysílací frekvenci je možné přenášet více dat, ale dosah není tak dobrý jako u nižších frekvencí. Podobně jako Bluetooth poskytuje Wi-fi mechanismus pro provoz více bezdrátových sítí na jednom místě. A to tak že přenosové pásmo je rozděleno do několika kanálů (rozsahů). Pokud jednotlivé sítě používají různé kanály, eliminuje/snižuje se tím jejich vzájemná interference. V pásmu 2.4 GHz existuje 14 kanálů, kde každý má šířku 20 MHz a jejich rozestupy jsou 5–12 MHz. Dochází tak zde k částečnému překrývání kanálů. Ve skutečnosti tak můžeme použít pouze 4 kanály, pokud potřebujeme, aby se žádným způsobem nepřekrývaly. U pásma 5 GHz, které je podstatně širší, k překrývání kanálů nedochází, neboť jejich rozestupy jsou 20 MHz (při šířce kanálu 20 MHz). Jak již bylo řečeno, použití frekvenčního pásma 5 GHz je v řadě zemí regulováno. V Evropě je možné využít 19 kanálů. Přičemž prvních 8 kanálů (zabírají frekvenční pásmo 5,180–5,240 GHz) je možné použít pro vysílání jen uvnitř budov a jejich maximální vysílací výkon je omezen na 200 mW. Ostatních 11 kanálů (zabírají frekvenční pásmo 5,500–5,700 GHz) je možné použít pro vysílání i mimo budovy a jejich maximální výkon nesmí přesáhnout 1 W.

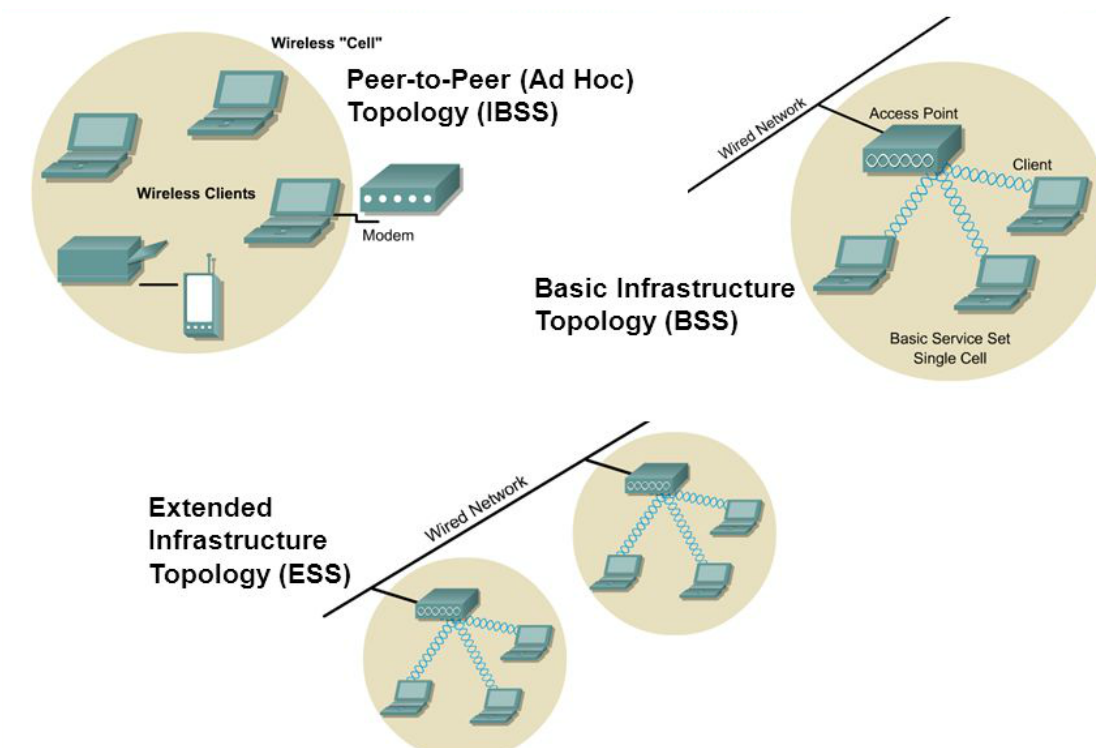
Standard	Rok vydání	Maximální teoretická rychlost [Mbit/s]	Dosah (uvnitř/venku, v metrech)
původní IEEE 802.11	1997	2	20/100
IEEE 802.11a	1999	54	35/120
IEEE 802.11b	1999	11	38/140
IEEE 802.11g	2003	54	38/10
IEEE 802.11n	2009	600	70/250
IEEE 802.11y	2008	54	50/5000
IEEE 802.11ac	2013	1000	–
IEEE 802.11ad	2014	7000	–

Tabulka 2.1: Přehled standardů IEEE 802.11. (Zdroje: [65, 124])

V rámci technologie Wi-Fi spolu mohou zařízení bezdrátově komunikovat pomocí režimu přímého spojení nebo pomocí prostředníka, kterým je centrální přístupový bod. Na základě způsobu komunikace dvou více zařízení mezi sebou rozeznáváme dva druhy Wi-Fi sítí (ilustrovány na obrázku 2.12):

Sítě Ad Hoc V síti typu Ad Hoc (ihned) spolu zařízení komunikují přímo bez prostředníka, tedy centrálního přístupového bodu (Access Point). Každé zařízení je v podstatě malým přístupovým bodem a společně takto vytváří bezdrátovou buňku, ve které se dělí o šířku pásma. Tento typ nezávislé sítě se také nazývá IBSS (Independent Basic Service Set) a umožňuje omezenému počtu zařízení (která od sebe nejsou příliš vzdálena) oboustrannou komunikaci bez nutnosti většího plánování sítě.

Sítě s infrastrukturou V síti s infrastrukturou musí existovat minimálně jeden centrální přístupový bod. Zařízení pak nekomunikují přímo mezi sebou, ale s přístupovým bodem, přes který prochází veškerá komunikace v bezdrátové síti. Tento přístupový bod tvoří bezdrátovou buňku, ve které se společně s připojenými zařízeními dělí o šířku pásma. Přístupový bod může být připojen ke klasické kabelové LAN síti, ale může fungovat i samostatně. Dnes se lze poměrně často setkat také se zařízením typu WLAN BroadBand Router, které v sobě spojuje funkci routeru, switchu a přístupového bodu. Nabízí připojení k internetu (pomocí WAN konektoru), připojení k LAN sítím (pomocí LAN konektorů) a připojení k WLAN (pomocí Access Pointu). Jednoduché uspořádání bezdrátové sítě s přístupovým bodem se nazývá BSS (Basic Service Set). Síť, která je rozšířena o další přístupové body se nazývá ESS (Extended Service Set). Tento typ bezdrátové sítě může být rozšířen na velké ploše.



Obrázek 2.12: Základní typy Wi-Fi sítí z hlediska jejich topologie. (Zdroj: [128])

Technologie Wi-Fi používá pro přenos dat tzv. rámce, což je datová jednotka specifikovaná standardy IEEE 802.11x. Tyto rámce jsou podobné ethernetovým rámcům. Pro jejich transport v rámci linkové vrstvy je použit protokol CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), tedy v překladu *naslouchání nosného signálu s vícenásobným přístupem a vyloučení kolizí*. Tento protokol, jak už název napovídá, se snaží vyloučit případné kolize při vysílání uzlů sítě, které se ve sdíleném bezdrátovém médiu jinak obtížně detekují (srovnejme s Bluetooth, kde ke kolizím nedochází, protože master určuje, kdy mohou jednotlivé uzly sítě vysílat). Za tímto účelem se ve Wi-Fi sítích používají především dvě metody pro vyloučení kolizí:

DCF (Distributed Coordination Function) V překladu: distribuovaná koordinační funkce. V rámci této metody stanice, která chce vysílat data, nejdříve naslouchá a čeká na chvíli klidu, teprve pak začne vysílat data.

PCF (Point Coordination Function) V překladu: bodová koordinační funkce. V rámci této metody musí vysílající stanice odeslat bezdrátovému přístupovému bodu rámec s požadavkem na vysílání RTS (Request To Send), který se zasílá i dalším uzlům v síti. Po určité době, pokud přístupový bod nedetekuje vysílání jiného uzlu, posílá rámec CTS (Clear To Send) uzlu, který RTS odeslal. Poté má daný uzel vyhrazen prostor pro vysílání.

Kapitola 3

Možnosti aplikace

V této kapitole se budeme zabývat možnostmi uplatnění nositelných zařízení v nejrůznějších sférách. V podkapitole 3.1 se zaměříme na současné možnosti nositelných zařízení a jejich aplikaci, zatímco v kapitole 3.2 budeme zkoumat možné budoucí trendy aplikace.

3.1 Současné možnosti a způsoby využití

V této podkapitole budou ukázány různé možné aplikace dnešních nositelných zařízení. Rozsah oblastí, kde najdou nositelná zařízení své uplatnění, je velký – od nakupování, přes sport a zábavu až po nejrůznější monitorování.

3.1.1 Zdraví

V oblasti zdraví našla nositelná zařízení široké uplatnění. Příkladem nositelného zařízení využitelného v oblasti zdraví může být inteligentní prsní náplast *iTBra* (viz obrázek 3.1), která je schopna detekovat počínající rakovinné bujení v prsní tkáni, tedy jinými slovy počáteční stádium rakoviny prsu. Včasně odhalení zvyšuje pravděpodobnost úspěšné léčby. Princip spočívá v detekci změn teploty v prsní tkáni, což může znamenat rakovinu prsu v raném stádiu. Samotná náplast odesílá data do mobilního zařízení, které je zase odesílá do speciálního softwarového centra, kde jsou tyto data pomocí různých algoritmů a neuronových sítí analyzována a vyhodnocena. Zařízení bylo testováno na více než 500 pacientech s úspěšností 87 % a stále je ve vývoji. [91][92]

Dalším příkladem využití nositelných zařízení v oblasti zdraví může být ochrana před škodlivým UV zářením. Příkladem takového zařízení je SunFriend. Jedná se o náramek, který detekuje UVA a UVB záření. Uživatel může nastavit stupeň světlosti kůže (rozsah 11 stupňů světlosti, respektive tmavosti) a v závislosti na této hodnotě hlídá náramek denní přípustnou expozici. Po jejím dosažení je uživatel informován prostřednictvím LED diod. Díky tomuto zařízení tak nehrozí spálení kůže, které by mohlo vést např. až k rakovině. [125][71]

V této oblasti je mnoho dalších typů nositelných zařízení, např. pro vyhodnocování kvality spánku, měření vitálních funkcí, kardiostimulátory aj.



Obrázek 3.1: Inteligentní prsní náplast iTBra. (Zdroj: [78])

3.1.2 Sport a životní styl

I v oblasti sportu a zdravého životního stylu si našla nositelná zařízení své místo. V současné době se jedná o jeden z nejvíce se rozvíjejících segmentů, ve kterém se uplatňují nositelná zařízení. Jedná se zejména o již dříve zmíněnou technologii Nike+ nebo nejrůznější fitness náramky, které analyzují sportovní výkon a případný pokrok. Měří např. počet ušlých kroků, případně uběhnutou vzdálenost, počet spálených kalorií a nebo srdeční tep. Některé pokročilejší zařízení tohoto druhu umožňují sledovat spánkový cyklus uživatele a probudit jej ve správný čas, aby tento spánkový cyklus nebyl narušen. Některé typy náramků mají displej a některé ne, většina těchto zařízení bezdrátově komunikuje s mobilními přístroji. Sportovní funkce také dnes stejně dobře zvládnou chytré hodinky, které disponují displejem, operačním systémem a mohou být dotykově ovládány. Grafické porovnání fitness náramku a chytrých hodinek přináší obrázek 3.2. [3]



Obrázek 3.2: Grafické porovnání fitness náramku FitBit Force (vpravo) a chytrých hodinek Galaxy Gear (vlevo). U fitness náramku vidíme menší displej pro jednoduché zobrazování informací, který odpovídá použití pro fitness. U chytrých hodinek vidíme mnohem větší dotykový displej, který umožňuje se zařízením pracovat mnoha způsoby včetně používání fitness funkcí. (Zdroj: [97])

3.1.3 Zábava a nakupování

Postupně nositelná zařízení pronikají i do oblasti zábavy a nakupování. Zatím však spíše nesměle. Příkladem mohou být nejrůznější headsety pro virtuální realitu, které se uplatní zejména při hraní her nebo při sledování filmů. Jeden z nejpokročilejších headsetů pro virtuální realitu je v současnosti model *Samsung R322 Gear VR Lite* (viz obrázek 3.3). Funguje pouze ve spolupráci s vybranými modely chytrých telefonů (pochopitelně také od Samsungu). Konkrétní telefon se zasune do slotu na headsetu a pomocí USB se připojí k headsetu. Telefon je pak možné pomocí touchpadu na headsetu ovládat. Samotného efektu virtuální reality je dosaženo pomocí speciálních čoček, které udělají z displeje telefonu jednu velkou obrazovku. Headset reaguje na nejrůznější otáčení hlavy a upravuje podle toho virtuální realitu. Pro tyto účely je vybaven např. akcelerometrem nebo gyroskopem. Váha činí 318 g bez telefonu a zorný úhel je 96°. Pro autentický zážitek jsou zapotřebí speciální 360° videa a herní tituly, které vytvoří skutečnou virtuální realitu. [116][11]



Obrázek 3.3: Headset Samsung R322 Gear VR Lite pro virtuální realitu. (Zdroj: [117])

Díky NFC technologii mohou být také nositelná zařízení využita při bezkontaktních platbách nejrůznějších nákupů. V současnosti však tento způsob placení není příliš rozšířen. Existuje ale např. služba Apple Pay od společnosti Apple, která umožňuje platit bezkontaktně na platebních terminálech např. pomocí chytrých hodinek Apple Watch. Zatím služba běží v USA, Velké Británii a na rok 2016 je plánováno její spuštění např. v Číně. Ne každý obchod tento typ platby podporuje a tak služba zatím není příliš rozšířená. Ale lze očekávat, že se postupně rozroste a poté s podobnými službami přijdou i jiné společnosti a výrobci a pro bezkontaktní platby bude možné využít různá nositelná zařízení, nejen Apple Watch. Masovější rozšíření je tedy otázkou budoucnosti. [76][26][44]

3.1.4 Monitorování osob

Jedna z oblastí současné aplikace nositelných zařízení je tzv. elektronický monitoring osob. Jedná se např. o osoby odsouzené k trestu domácího vězení. Tyto osoby jsou vybaveny elektronickým náramkem, který se nejčastěji umísťuje na kotník. I když je toto zařízení nošeno převážně nedobrovolně, stále se jedná o nositelné zařízení. Elektronický náramek je schopný upozornit příslušné orgány (např. policii, probačního úředníka apod.), pokud osoba vybavena tímto náramkem opustí vymezený prostor (případně jej opustí na delší dobu než je povolena) nebo se pokusí náramku zbavit nebo do určitého času není na určitém

místě apod. Za tímto účelem je elektronický náramek vybaven systémem GPS nebo vysílací rádiovou jednotkou, které umožní dohledovému orgánu na dálku monitorovat osobu s tímto náramkem. Elektronický monitoring osob je vhodný pro méně závažné trestné činy a jeden z problémů, který řeší, jsou přeplněné věznice. [96][28][96]

Jiným typem elektronického monitoringu osob jsou např. zařízení pro sledování (monitorování) dětí nebo lidí trpících demencí. Tím se myslí sledování jejich polohy nebo monitorování jejich vitálních funkcí jako teplota, dýchání, srdeční tep aj. Zejména oblast monitorování vitálních funkcí se do určité míry kryje s oblastí použití nositelných zařízení pro zdravotní účely. Zde se můžeme na rozdíl od elektronických náramků setkat s podstatně pestřejší škálou zařízení. Tyto mohou mít podobu např. hodinek, náramků (na ruce i nohy), nebo přívěsků. Zařízení pro sledování polohy jsou většinou založeny na technologii GPS, kdy starostlivý rodič může sledovat své ratolesti např. pomocí mobilní aplikace, která zobrazuje polohu na mapě. Tyto zařízení mohou mít podporu pro technologie 3G, Wi-Fi apod. Příklad takového sledovacího zařízení pro děti zobrazuje obrázek 3.4. Co se týče zařízení pro monitorování vitálních funkcí, jejich použití je vhodné zejména pro ty nejmenší děti, v podstatě miminka. Jsou obvykle vybaveny technologiemi jako Bluetooth nebo Wi-Fi, přes které jsou data přenášena do mobilu. Rodič tak má přehled o stavu dítěte, aniž by jej musel mít přímo na očích. Častá jsou také zařízení, která podporují jak sledování lokace, tak vitálních funkcí. [71][49][72][108]

V rámci monitorování dětí existují také zařízení, které sledují bezpečnost dětí ve vodě. Např. zařízení *iSwimband* se skládá z čelenky, která je určená pro plavce a náramku pro neplavce. Zařízená komunikuje s mobilním přístrojem pomocí technologie Bluetooth, který má u sebe např. rodič a v případě možných potíží je varován. Dosah komunikace je u tohoto zařízení přibližně 30 m. U plavce je jako potíží vyhodnocena situace, kdy se nachází pod vodou déle než stanovený časový limit. U neplavce naopak dochází k potíži, pokud např. přijde do kontaktu s vodou. Toto detekují speciální senzory, kterými je zařízení vybaveno. Zařízení je ukázáno na obrázcích 3.5a a 3.5b. [71]

Problémem zařízení pro monitorování osob a zvláště dětí je určitý zásah do jejich soukromí. Tento je ale vyvažován eliminací potenciálních zdravotních a bezpečnostních rizik.



Obrázek 3.4: Zařízení KizON od LG pro sledování dětí. Na obrázku vypadají děti šťastné, ale dříve nebo později jim bude zasahovat do soukromí a budou se jej chtít zbavit. To je také v pořádku, od určitého věku je potřeba dát dětem prostor. (Zdroj: [109])



(a) Zařízení iSwimband ve formě náramku pro neplavce. (Zdroj: [89])



(b) Zařízení iSwimband ve formě čelenky pro plavce. (Zdroj: [111])

Obrázek 3.5: Zařízení iSwimband v různých formách.

3.2 Budoucí trendy

V této kapitole bylo čerpáno z následujících zdrojů: [25, 129, 93, 119, 7].

Odhadovat budoucnost není snadné. Přesto se zde pokusíme uvést některé pravděpodobné technologie a trendy, kterými se nositelná zařízení mohou v budoucnu ubírat.

- Vývoj nositelných zařízení ve formě nejrůznějších implantátů, zejména lze očekávat čipové implantáty.
- Rozvoj nositelných zařízení zaměřených na virtuální a rozšířenou realitu.
- Vývoj nejrůznějšího chytrého oblečení.
- Rozvoj bezkontaktních plateb pomocí chytrých zařízení.
- Využívání nositelných zařízení pro účely ovládání robotů. Tomuto tématu se věnuje praktická část práce.
- Pokračování výzkumu a vývoje prototypů v oblasti nositelných exoskeletonů, tzv. robotických exoobleků (exosuit). Obrázek 3.6 ukazuje příklad takového nositelného exoskeletonu, který je vyvíjen výzkumníky z UC Berkley a má umožnit ochrnutým lidem znovu chodit. Nositelné exoskeletony se také mohou uplatnit při rehabilitaci nebo v armádě. [73][56]
- Snižování energetický nároků nositelných zařízení a vývoj technologií pro získání energie z okolí (energy harvesting). Díky získávání energie z okolí by mohla nositelná zařízení vydržet delší dobu bez klasického drátového nabíjení, aniž by přitom bylo nutné použít větší baterie a zvětšit tak celkovou velikost nositelného zařízení. V naprosto ideálním případě by získání energie z okolí plně pokryl energetické požadavky zařízení a nutnost nabíjení by zcela odpadla.

Jednou z možností je transformace energie ze světla na elektrickou energii pomocí solárních článků díky fotovoltaického jevu, kdy působení světla vyvolá v polovodičovém

prvku uvolňování elektronů. Nevýhoda tohoto přístupu spočívá v tom, že je použitelný vesměs jen exteriérech při vhodných slunečních podmínkách a na zařízeních s dostatečně velkou plochou.

Další možnost je transformovat tepelnou energii na elektrickou díky tzv. Peltier-Seebeckovu (termoelektrickému) jevu. Tento jev spočívá v tom, že při teplotním rozdílu mezi dvěma Peltierovy články (což jsou polovodiče) je produkován elektrický proud. Čím vyšší teplotní rozdíl, tím větší proud je produkován. Použití tohoto přístupu je postaveno na předpokladu, že jeden z článků je v kontaktu s pokožkou a druhý s vnějším okolím a zároveň je mezi pokožkou a vnějším okolím dostatečný teplotní rozdíl. V opačném případě by byl tento způsob také málo použitelný.

Je možné také využít Piezoelektrického jevu, který umožňuje přeměnit mechanickou energii jako vibrace na elektrickou energii. Piezoelektrické prvky pak generují malý elektrický proud, pokud na ně působí mechanické síly (jako např. uvedená vibrace). Tento jev je založen na tom, že některé krystaly vlivem deformování generují elektrické napětí. Vibrace se objevují obecně při fyzickém pohybu (chůze, pohyb rukou). Tento způsob však umožňuje získat jen relativně malé množství elektrické energie.



Obrázek 3.6: Nositelný exoskeleton, který je vyvíjen výzkumníky z UC Berkley a má umožnit ochrnutým lidem znovu chodit. Na obrázku je Steven Sanchez, který ochrnul po nehodě na BMX. (Zdroj: [113])

Kapitola 4

Aplikace nositelných zařízení při ovládání robota

V předchozí kapitole jsme viděli několik možných aplikací nositelných zařízení. Jako jeden z možných budoucích trendů, kde by se mohla nositelná zařízení více uplatnit, bylo uvedeno používání nositelných zařízení k ovládání robotů. V této oblasti může být totiž jejich nasazení vhodnější než použití jiných způsobů ovládání. V současnosti není tento způsob ovládání robotů příliš rozšířený, a tak je potřeba jít budoucnosti naproti. Jedním z pomyslných krůčků je právě i tato kapitola, která popisuje využití nositelných zařízení pro účely ovládání robota a představuje hlavní autorův přínos v rámci této práce. Problematice se však nevěnuje obecně, ale popisuje konkrétní řešení a to systém pro ovládání pojízdného robota na platformě ROS (Robotický operační systém), který sestává z nositelného zařízení s názvem Myo armband a Android aplikace, která byla za tímto účelem vytvořena autorem. Android aplikace představuje hlavní jádro systému a také praktický výstup celé práce.

Tato konkrétní aplikace nositelných zařízení však nebyla od začátku jasná volba. Proces výběru vhodné aplikace zde bude pro zajímavost popsán. Při výběru práce bylo rozhodnuto, že vytvořené řešení, které bude představovat konkrétní aplikaci nositelného zařízení, bude ve formě aplikace přímo pro nositelné zařízení nebo ve formě mobilní aplikace, která bude s nositelným zařízením komunikovat. Málokteré nositelné zařízení je totiž natolik komplexní, aby bylo možné přímo pro něj vyvinout aplikaci. Také bylo rozhodnuto, že případná mobilní aplikace bude vytvořena pro platformu Android vzhledem k její rozšířenosti a vyšší otevřenosti a dostupnosti než kupř. konkurenční platforma iOS od firmy Apple. Kromě toho autor vlastnil mobilní zařízení na platformě Android (to bylo potřeba později nahradit jiným kvůli absenci rozhraní Bluetooth LE) a také měl zkušenosti s vývojem aplikací v Javě. Důvody volby platformy Android byly tedy objektivní (rozšířenost, otevřenost) i ryze subjektivní (vlastnictví Android zařízení, zkušenosti s Javou). Poté co se vyjasnily základní kontury budoucí aplikace, se uvažovalo např. o vytvoření Android aplikace i aplikace pro OS Android Wear (tento OS pohání chytré hodinky, jež měly být využity pro měření srdečního tepu), které by spolu komunikovaly. Přičemž Android aplikace by zároveň komunikovala s hrudním pásem pro měření srdečního tepu. Data o srdečním tepu získaná z hrudního pásu a chytrých hodinek by se porovnávala a např. dále vizualizovala. Hlavním cílem by bylo porovnání přesnosti optické metody pro měření srdečního tepu u hodinek s přesností metody EKG u hrudního pásu, která by byla považována pro tento účel jako referenční. Nakonec bylo od této aplikace odstoupeno, vzhledem k tomu že fakulta nedisponovala nositelným zařízením tohoto typu. Zato ale vlastnila nositelné zařízení Myo armband, které se díky

EMG sensorům a schopnosti rozpoznávat gesta ruky jevílo velmi zajímavým, a proto bylo vybráno pro možné použití. Po úvaze a inspiraci některými aplikacemi tohoto zařízení pro ovládání robotů bylo rozhodnuto, že toto zařízení bude použito také pro ovládání robota. Původně byl zvažován robot Parrot Rolling Spider (miniaturní dron), pro který existovala již podobná aplikace a také solidní API. Tento robot byl ale poměrně drahý a cesta příliš prošlapaná. Proto byl nakonec vybrán fakultní pojízdný robot Trilobot na platformě ROS (Robotický operační systém). Zde se ukázalo, že volba platformy Android byla správná volba, neboť pro ni (narozdíl od iOS nebo Windows Phone) existují knihovny (byť ve verzi alfa) pro práci s ROS napsané v Javě. Více o těchto knihovnách a o OS Android Wear bude uvedeno dále v této kapitole. Výhoda ROS spočívá především v tom, že systém pro ovládání robota je nezávislý na konkrétním robotovi a pracuje se všemi pojízdnými roboty na platformě ROS. Neomezuje se tak fakultního Trilobota (i když byl na něm primárně testován).

Vraťme se tedy zpátky k popisu finálního řešení. Nositelné zařízení Myo armband je ve tvaru náramku, který se uchytí na předloktí a je schopno díky odpovídajícím sensorům zachytávat pohyb v prostoru a také díky sensorům EMG (snímání svalové aktivity) je schopno rozeznat základní gesta ruky. S mobilním zařízením na platformě Android komunikuje pomocí bezdrátové technologie Bluetooth LE. Mobilní zařízení, respektive aplikace na něm běžící, pak na základě získaných dat z náramku komunikuje s robotem, tak že mu zasílá řídicí zprávy. Naše řešení využívá pro tuto komunikaci bezdrátovou technologii Wi-Fi a je takto schopné ovládat robota, který běží na platformě ROS. Samotné ovládání robota pomocí nositelného zařízení Myo armband tak probíhá zprostředkovaně pomocí mobilní aplikace. Hlavní princip ovládání robota pomocí nositelného zařízení je tedy takový, že rozpoznaná gesta a pohyby ruky jsou převáděny na odpovídající pohyby robota.

V kategorii nositelných zařízení lehké váhy nemá Myo armband příliš velkou konkurenci, zejména kvůli jeho schopnosti rozeznávat už v základu určitá gesta. Proto zde mnoho podobně použitelných řešení nenalezneme. Co se týče kategorie nositelných zařízení těžké váhy, tak zde existují např. nositelné exoskeletony, které detekují pohyb na základě dat z potenciometrů a umožňují kontrolovat bezdrátově pohyby humanoidního robota [80]. V oblasti ovládání humanoidních robotů tak nemůže mít tento přístup vážnější konkurenci.

Naše řešení založené na Myo armband se však nezaměřuje na humanoidní roboty, ale pojízdné roboty. Toto řešení je poměrně obecné, protože se neorientuje na konkrétní model robota, ale na celou množinu robotů, které běží pod Robotickým operačním systémem. Také je poměrně mobilní a přenositelné, protože náramek máme upevněný na ruce a mobil můžeme držet v jedné ruce nebo si jej strčit do kapsy, klidně si tak můžeme vyjít s robotem na procházku. Hlavní nevýhoda je ta, že dosah technologie Wi-Fi není tak velký jako dosah klasického rádiového vysílače. Náramek Myo je poměrně čerstvou záležitostí, ale už nyní vznikají jeho aplikace pro ovládání robotů. Na Google Play je zatím skutečně několik málo aplikací, které slouží pro ovládání robotů (většinou dronů), zatím ale trpí nedostatkem obecnosti a na spojení ROS a Myo náramku jsem na Google Play nenarazil. Nelze ale tvrdit, že podobná řešení neexistují, mohou docela dobře existovat, jen je doposud nikdo na Google Play nezveřejnil.

4.1 Architektura systému a jeho komponenty

Celý systém, jak již bylo naznačeno, se skládá ze tří komponent a to nositelného zařízení Myo armband, mobilní aplikace na platformě Android a robota na platformě ROS. Jejich vzájemnou komunikaci ilustruje lépe obrázek 4.1. Samotné řešení, tedy vlastní přínos, pak

spočívá v mobilní aplikaci, která přijímá data z Myo náramku a na jejich základě zasílá řídicí zprávy robotovi. Komunikace náramek → mobil využívá technologii Bluetooth LE, zatímco komunikace mobil → robot používá technologii Wi-Fi. Jednotlivé komponenty systému a s nimi související technické detaily jsou představeny v následujících podkapitolách.



Obrázek 4.1: Architektura systému (popisuje komponenty a způsob komunikace).

4.1.1 Nositelné zařízení Myo armband

V této kapitole bylo čerpáno především z těchto zdrojů: [21, 39, 61].

Myo armband je nositelné zařízení ve tvaru náramku, které se nosí na předloktí a disponuje nejrůznějšími senzory, které umožňují zachytit pohyby ruky a některá gesta, což je velmi zajímavá schopnost. Mezi jeho typické aplikace patří ovládání techniky (HW) nebo aplikací (SW), typicky se tak uplatňuje při ovládání počítačových her, aplikačních programů (prezentace, video, hudba, aj.), robotů, ohňostrojů nebo ve virtuální realitě. Výrobcem je společnost Thalmic Labs sídlící v kanadském městě Waterloo, která byla založena v roce 2012 třemi absolventy University of Waterloo. Společnost sebe samu definuje jako průkopníka v oblasti nových způsobů interakce s digitálními zařízeními.

Co se týče provedení, náramek existuje v bílém nebo černém provedení (viz obrázek 4.2). Je schopný přizpůsobit se různým obvodům předloktí (19 cm až 34 cm). Váha je snesitelných 93 g a tloušťka 1.14 cm. Jeho hardwarová výbava zahrnuje:

EMG senzory Elektromyografické senzory, jejichž část, která je v kontaktu s kůží, je vyrobena z chirurgické oceli. Senzory snímají elektrickou svalovou aktivitu v předloktí a na základě dat z těchto senzorů je náramek schopen rozpoznat některá základní gesta ruky (viz obrázek 4.3). Celkově obsahuje náramek po svém vnitřním obvodu 8 EMG senzorů. Data ze senzorů EMG jsou snímána s frekvencí 200 Hz.

IMU jednotku Vysoce citlivá inerciální měřicí jednotka, která zahrnuje tří-osý gyroskop, tří-osý akcelerometr a tří-osý magnetometr. Na základě dat z těchto senzorů je zařízení

schopné detekovat pohyb v prostoru včetně rotace (viz obrázek 4.4). Data ze senzorů IMU jsou snímána s frekvencí 50 Hz.

Procesor ARM Cortex M4

Indikační led diody Dvě světelné diody, které indikují stav zařízení (např. nabíjí se, nabitá, synchronizováno, zahřívá se aj.).

Haptickou zpětnou vazbu Jinými slovy se jedná o vibrátor, který slouží jako zpětná vazba (např. při detekování nového gesta ruky). Je možné jej ovládat softwarově.

Rozhraní Bluetooth LE Slouží ke komunikaci s jinými zařízeními. Pomocí něj zpřístupňuje data ze senzorů, gesta, stav baterie aj. Také jeho prostřednictvím přijímá příkazy (např. zavibrovat, vypnout se).

Rozhraní Micro USB Slouží k zapnutí zařízení a k nabíjení zabudované Lithium-Ion baterie, která na jedno nabití vydrží v nepřetržitém provozu celý den.

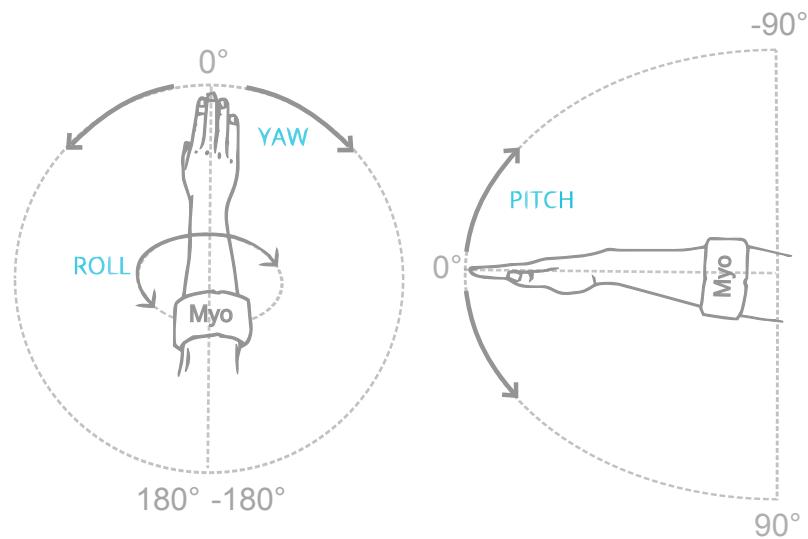


Obrázek 4.2: Nositelné zařízení Myo armband v tmavém provedení. (Zdroj: [22])



Obrázek 4.3: Základní gesta detekovatelná zařízením Myo armband. Zleva: *Fingers Spread*, *Fist*, *Double Tap*, *Wave Left* a *Wave Right*. (Zdroj: [22])

Při neaktivitě se zařízení přepne do režimu nízké spotřeby, ve kterém vydrží s nabitou baterií až týden. Z tohoto režimu se probudí a přejde do provozního režimu při změně polohy. Vypnout zařízení je možné pouze softwarově pomocí rozhraní Bluetooth LE. Mezi podporované platformy patří Android, Mac OS X, iOS (vybrané modely zařízení iPod, iPad a iPhone) a Windows. Přičemž Mac OS X a Windows potřebují ke komunikaci s Myo armband USB adaptér Bluetooth LE, který je součástí balení. U ostatních zařízeních je podmínka, aby disponovala rozhraním Bluetooth LE. Podporovanými platformami se myslí zejména ty, pro které existuje vývojářské API. U jiných platform (např. Windows Phone) neexistuje vývojářské API a komunikaci s Myo armband je nutné řešit na nižší úrovni v rámci rozhraní Bluetooth LE.



Obrázek 4.4: Pohyby v prostoru, které je schopné zařízení díky svým senzorům detekovat. Pohyby typu YAW a PITCH naše aplikace využívá pro ovládání robota. Více informací v kapitole 4.3. (Obrázek vytvořen na základě zdroje: [84])

Jelikož je možné pomocí Bluetooth LE číst z náramku surová EMG data zachycující svalovou aktivitu (nejen předem definovaná gesta, která jsou rozpoznána na základě svalové aktivity), tak je možné softwarově implementovat vlastní rozpoznání gest. Úkol je to nicméně náročný a nesnadný a pro mnoho aplikací postačí předem definovaná gesta.

Stejně jako většina nově vyvinutých technologií/zařízení, i Myo armband není dokonalé. Rozpoznání gest ruky není 100% a také jeho přítomnost na ruce je poznat a po delší době používání zanechává dočasně otisky i otlaky na kůži. Jeho rozměry jsou také poněkud větší. Vývoj však dále pokračuje a přesnost rozpoznání gest a ergonomie používání se bude snad dále zlepšovat. I tak je současný technologický stupeň vyspělosti zařízení pro mnoho aplikací prakticky použitelný.

4.1.2 Robot na platformě ROS

V této kapitole bylo čerpáno především z těchto zdrojů: [90, 82, 85, 12, 81, 87].

Pomocí nositelného zařízení Myo armband a mobilní aplikace je možné ovládat velkou množinu robotů. Námi zvolená cílová aplikace vyžaduje, aby robot měl následující parametry:

- Je pojízdný ve smyslu pohybu vpřed, vzad a zatáčení.
- Je poháněn Robotickým operačním systémem.
- Podporuje přijímání řídicích zpráv typu Twist (v rámci Robotického operačního systému), které řídí pohyb robota.
- Disponuje rozhraním Wi-Fi, pomocí kterého jsou mu zasílány řídicí zprávy.

Robota s výše uvedenými parametry jsme pak schopni pomocí náramku Myo a mobilní aplikace ovládat. Jedním ze základních požadavků je, aby byl poháněn Robotickým operačním systémem.

Projekt ROS (Robotic Operating System) vznikl v roce 2007 ve Stanford Artificial Intelligence Laboratory. Jedná se o open-source meta-operační systém/framework, pod licenci GNU, určený pro roboty. Poskytuje hardwarovou abstrakci, implementaci často požadované funkcionality, předávání zpráv mezi procesy, nástroje a knihovny pro psaní a spouštění kódu mezi více zařízeními. Cílem je zjednodušit vytváření složitých robotických aplikací např. širokým spektrem robotických platforem. ROS framework je v současné době implementován v jazycích C++, Python, Lisp a existuje i v podobě experimentálních knihoven pro jazyky Java a Lua. Vyvíjet software založený na ROS frameworku je tak zatím možné v těchto jazycích. V současné době ROS běží na Unixových platformách, přičemž primárně podporovanými platformami jsou Ubuntu a Mac OS X.

Grafem běhového prostředí ROS je síť peer-to-peer procesů/uzlů (pojem uzel a proces jsou jen jinými pojmenování téhož, tedy procesu který provádí nějaký výpočet), které mohou běžet lokálně na jednom stroji nebo distribuovaně např. více stroji. Robot, respektive jeho ovládací systém, typicky sestává z několika uzlů, jeden uzel např. ovládá motory pohánějící kola, jiný provádí plánování trasy apod. ROS umožňuje několik stylů komunikace mezi uzly, např. synchronní vzdálené volání procedur prostřednictvím služeb nebo asynchronní přenos dat prostřednictvím topiců. Topicy jsou pojmenované virtuální sběrnice, přes které si uzly vyměňují zprávy (obsahující data) a jsou určené pro jednosměrnou proudovou komunikaci. Existuje zde přitom anonymní sémantika publikování zpráv a jejich odebírání, neboť uzly nemají povědomí o tom s kým komunikují. Místo toho uzly, které mají zájem o přijímání dat, odebírají určitý topic a uzly, které data generují, na odpovídající topic publikují. Jeden topic může být odebírán více uzly a stejně tak na něj může více uzlů publikovat. Topicy jsou typované podle zpráv, které jsou skrze ně publikovány, takže uzel odebírající daný topic přijímá zprávy se shodným typem. Samotný přenos zpráv je založený na rodině protokolů TCP/IP, kde primárně je podporován přenos dat skrze perzistentní TCP/IP spojení s využitím TCP protokolu transportní vrstvy.

Naše řešení funguje právě na bázi asynchronní komunikace, kdy mobilní aplikace představuje uzel, který publikuje zprávy do topicu, jenž odebírá proces/uzel běžící na robotovi.

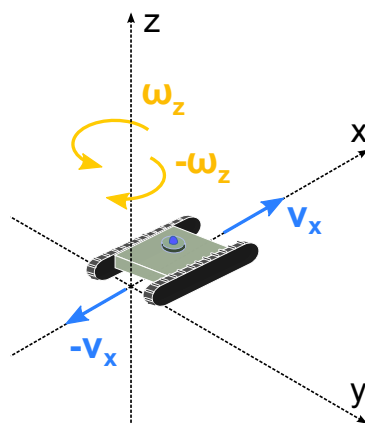
Dalším z požadavků na robota je to, aby podporoval řídicí zprávy typu Twist. Účel a strukturu těchto zpráv popisuje obrázek 4.5.

Pro demonstraci použitelnosti aplikace je tato aplikace předváděna s reálným robotem, na kterém proběhlo také její hlavní otestování (průběžné testy používaly simulátor robota). Tímto robotem je fakultní pojízdný robot s názvem Trilobot (viz obrázek 4.6). Disponuje třemi koly, přičemž pohon má na dvě z nich a třetí kolo zajišťuje stabilitu podvozku. Tento pohon je zajištěn dvěma sériovými motory s převodovkami pro dosažení nižší rychlosti a vyššího točivého momentu. Robot je napájen 14.8 V Li-Po dobíjecí baterií s kapacitou 5000 mAh. Robot je řízen mikropočítači Odroid XU4 a Arduino Mega 2560, kde:

Odroid XU4 je použit jako hlavní řídicí jednotka robota, která jej ovládá na vyšší úrovni.

Je na něm nainstalováno Ubuntu a v rámci Ubuntu meta-operační systém ROS verze Hydro. Je vybaven také USB Wi-Fi kartou, pomocí které může komunikovat bezdrátově s jinými zařízeními (v našem případě s mobilní aplikací). Také je nakonfigurován tak, aby se automaticky po zapnutí připojil k předem nastavenému Wi-Fi AP. Není potřeba jej tak po každém zapnutí znovu konfigurovat. Wi-Fi rozhraní tak představuje způsob, jak je možné jej ovládat zvenčí. Na Odroidu běží ROS program, který představuje uzel a naslouchá na topicu s názvem `/cmd_vel_safe`. Ovládání robota zvenčí se tak děje zasíláním zpráv typu `geometry_msgs/Twist` na tento topic (fyzicky realizováno právě pomocí Wi-Fi technologie), který slouží k ovládání pohonu kol.

Twist message
 $((v_x, v_y, v_z) , (\omega_x, \omega_y, \omega_z))$
 Linear velocity Angular velocity



Obrázek 4.5: Řídicí zpráva sestává ze dvou tříložkových vektorů [4]. První vektor představuje lineární rychlost. V tomto vektoru nás zajímá pouze jeho složka v_x , která určuje lineární rychlost robota (jednotky m/s) v třírozměrném prostoru ve směru osy x . Robot se tak pohybuje dopředu (kladná hodnota v_x), nebo dozadu (záporná hodnota v_x). Druhý vektor představuje angulární rychlost. V tomto vektoru nás zajímá pouze jeho složka ω_z , která určuje angulární rychlost robota (jednotky rad/s) v třírozměrném prostoru kolem osy z . Robot se tak otáčí doleva (kladná hodnota ω_z) nebo doprava (záporná hodnota ω_z).

Arduino Mega 2560 je použito pro ovládání robota na nižší úrovni. K Odroidu je připojen pomocí USB rozhraní. Běží na něm podobně jako na Odroidu ROS program, který představuje uzel a naslouchá na topicu s názvem `/trilobot/cmd_vel` a očekává zprávy typu `geometry_msgs/Twist`. Tyto zprávy získává přes USB rozhraní od Odroidu. Na základě těchto zpráv ovládá motory pomocí PWM, které jsou k němu připojeny pomocí V/V pinů skrze jejich řadiče Sabertooth 2X5.

Pokud robot nezachytí zprávu déle jak 50 ms, tak se sám zastaví. Funkce robota a jeho řídicích komponent jsou ve skutečnosti ještě o něco složitější a robot toho umí více. My jsme se zde ale zaměřili jen na to, co bezprostředně souvisí s naším problémem řízení pohybu robota.



Obrázek 4.6: Fakultní pojízdný robot s názvem Trilobot.

4.1.3 Mobilní aplikace na platformě Android

Mobilní aplikace je jádrem celého řešení a výsledného systému. Aplikace je vytvořena pro mobilní zařízení na platformě Android ve verzi 4.3 a vyšší (poskytuje API pro práci s Bluetooth LE). Představme si krátce tuto platformu.

Android je mobilní operační systém (OS) a platforma založena na Linuxovém jádře. Je volně dostupný pro nekomerční i komerční užití a má otevřený zdrojový kód. Jeho počátky sahají do roku 2005, kdy společnost Google odkoupila firmu (malý startup) s názvem Android Inc. V roce 2007 se zformovalo uskupení OHA (Open Handset Alliance), které kromě Googlu zahrnuje také společnosti jako HTC, NVIDIA, Motorola, Qualcomm aj. Společnosti v rámci tohoto uskupení spolupracují na vývoji otevřených standardů pro mobilní zařízení. V roce 2008 toto uskupení vyvinulo mobilní operační systém/platformu Android ve verzi 1.0. A prvním mobilním zařízením s tímto systémem se stal HTC Dream. Hlavním hráčem v rámci OHA je Google, který nejvíce přispívá k vývoji platformy Android, zejména jeho jádra. V současnosti je nejnovější verzí Android 6 s názvem Marshmallow. Co se týče statistik, tak podíl Androidu na globálním trhu činí přibližně 53 %, přičemž konkrétní počet jeho uživatelů je 1.4 miliard. Počet výrobců zařízení na platformě Android přesahuje 400 a

počet různých Android zařízení přesahuje 4000. Nakonec zisk společnosti Google prostřednictvím Androidu činí údajně až 31 miliard dolarů. Android jako takový je sice bezplatný, ale Google vydělává na službách, které jsou s ním spojeny, a zdá se že tento byznys model funguje. [55][123][131]

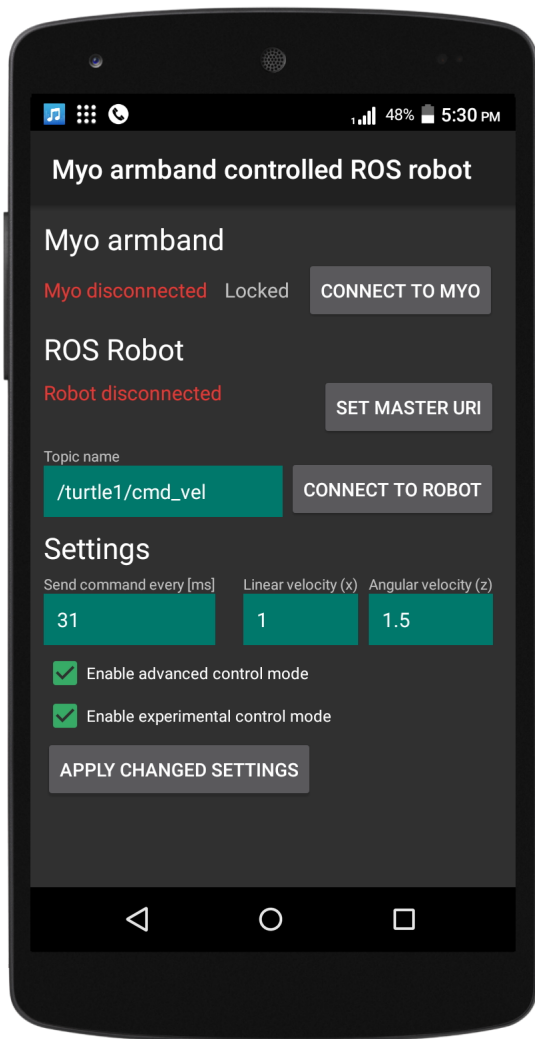
Android není doménou jen mobilních zařízení. V současnosti se můžeme sekat např. s technologií Android TV, což je chytrá televizní platforma od společnosti Google, pracující nad existujícími televizními zařízeními (jedná se v podstatě o typ set-top boxu). Tato platforma byla představena v roce 2014. Velmi aktuální záležitostí, respektive budoucí je technologie Android Auto (taktéž od Googlu), která poskytuje uživatelské rozhraní (UI) k Android zařízení, tak že toto UI je zabudované do palubní desky auta a umožňuje tak snadnější, respektive bezpečnější ovládání Android zařízení např. za jízdy. Tato technologie byla představena v roce 2014 a první model automobilu, který tuto technologii podporoval se stal v roce 2015 Hyundai Sonata. Kvůli nutnosti podpory této technologie ze strany výrobců automobilů v současnosti existuje jen několik modelů automobilů, které jsou s touto technologií kompatibilní. V letech 2016 a 2017 bude ale na trh uvedeno několik desítek dalších kompatibilních automobilů od různých výrobců. V souvislosti s nositelnými zařízeními je potřeba vyzdvihnout také platformu Android Wear (opět z dílny Googlu), což je OS Android modifikovaný pro potřeby nositelných zařízení. V současnosti se nejvíce uplatňuje u chytrých hodinek (např. model Moto 360 od společnosti Motorola), kde má Android Wear přibližně 17% podíl a existuje pro něj celkově 4000 aplikací. [55][8][59][41][42][123]

Vraťme se zpátky k popisu naší aplikace. Dalším požadavkem aplikace je to, aby mobilní zařízení, na němž má běžet, podporovalo technologii Bluetooth LE, která stále není samozřejmostí u současných zařízeních, zejména nižší třídy. Dalším limitujícím faktorem je šířka displeje, neboť GUI (grafické uživatelské rozhraní) aplikace se příliš malým displejům nedokáže přizpůsobit. Nejmenší displej, pro který bylo GUI úspěšně testováno, měl šířku 4.11 cm. GUI aplikace je ale jinak schopné se přizpůsobit různým velikostem displejů a také orientaci na výšku i šířku. Díky vertikálnímu posuvníku si GUI rozumí s jakoukoliv výškou displeje. Vizuálně nejlépe působí na uživatele GUI při úhlopříčce displeje o velikosti přibližně 5 palců s poměrem stran 16:9 a orientací na výšku. Podrobnosti, které se týkají implementace GUI pro různé velikosti displejů, jsou uvedeny v kapitole 4.2, která je zaměřena na implementační část aplikace. V této podkapitole se zaměříme na možnosti aplikace a způsob jejího použití a způsob propojení všech tří klíčových komponent (Myo náramek, robot, aplikace) do výsledného systému. Hlavní obrazovku po startu aplikace zobrazuje obrázek 4.7a. V průběhu samotného ovládání robota (po předchozím spárování aplikace s náramkem Myo a robotem) je hlavní obrazovka zachycena na obrázku 4.7b. Na těchto obrázcích si můžeme povšimnout, že se hlavní obrazovka aplikace dělí na 3 části:

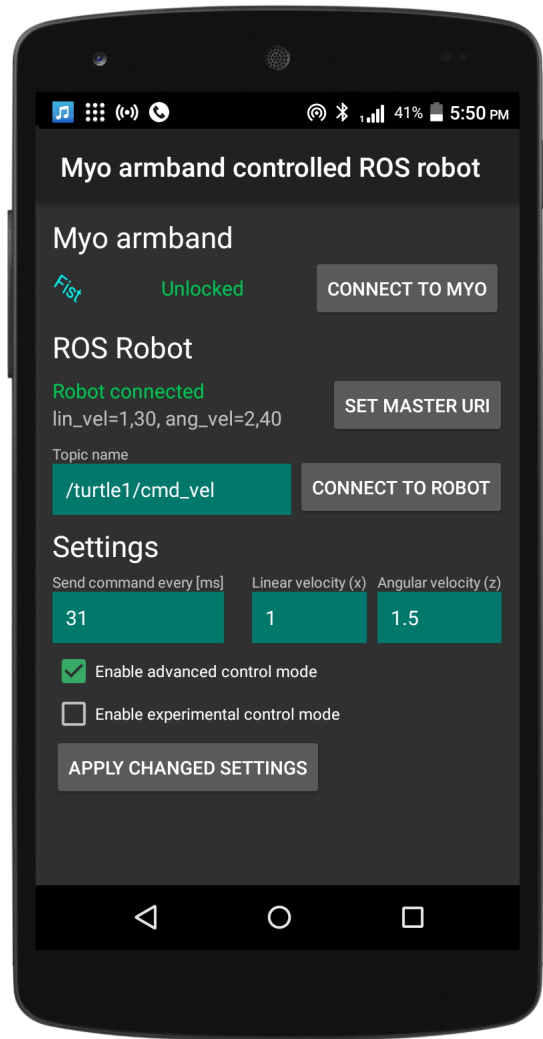
1. **Myo armband** – odpovídá Myo náramku. Můžeme zde sledovat stav náramku, tedy jestli je spárován s aplikací, nebo je odpojený. Můžeme se k náramku připojit pomocí tlačítka *CONNECT TO MYO*, popř. se takto od něj odpojit. Pokud je náramek odpojený, je tato informace signalizována pomocí červeného textu *Disconnected*. Můžeme také sledovat, jestli je náramek odemčený *Unlocked* nebo zamčený *Locked*. Gesta ruky se rozpoznávají pouze, když je náramek odemčený. Rozpoznaná gesta také aplikace zobrazuje (v tomto konkrétním případě je aplikace zachycena při rozpoznání gesta *Fist*). Pomocí pohybu náramku se text popisující rozpoznaná gesta různě natáčí, čímž také můžeme kontrolovat, jestli se data o poloze náramku v prostoru správně přenáší.
2. **ROS Robot** – odpovídá robotu. Můžeme zde sledovat, jestli je aplikace připojena

k robotu, respektive jestli v pořádku funguje zasílání řídicích zpráv ROS uzlu/procesu pomocí daného topicu. Pakliže je zasílání zpráv funkční, je tato informace signalizována pomocí textu *Robot connected* a také jsou k dispozici data (hodnota lineární rychlosti *lin_vel* a angulární rychlosti *ang_vel*), která jsou obsahem zpráv. V opačném případě je zobrazen červený text *Robot disconnected*. Připojit se k robotu, respektive spustit proces zasílání řídicích zpráv ROS uzlu/procesu na robotu můžeme pomocí tlačítka *CONNECT TO ROBOT*. Předtím je ale nutné nastavit *MASTER URI* (většinou IP adresa robota, respektive IP adresa WLAN rozhraní robota přes které je spojen s aplikací + číslo portu na kterém běží *ROS core*). Také zde nastavujeme název topicu na robotovi, do kterého bude aplikace publikovat řídicí zprávy (v tomto případě */turtle1/cmd_vel*).

3. **Settings** – odpovídá nastavení aplikace. Můžeme zde nastavit časový interval zasílání řídicích zpráv (v tomto případě 31 ms), protože různí roboti vyžadují různé maximální časové intervaly. Také zde můžeme nastavit základní lineární rychlost (v tomto případě 1 m/s) a základní angulární rychlost (v tomto případě 1.5 rad/s). Další, co zde můžeme nastavit, jsou různé módy ovládání. Tyto módy ovlivňují, jakými gesty a pohyby ruky můžeme robota ovládat a jak na takové ovládání reaguje. Více o módech a jim odpovídajících pohybech je uvedeno v kapitole 4.3. Aplikace si také pamatuje naposledy nastavené hodnoty/údaje. Toto se netýká pouze hodnot v sekci *Nastavení*, ale i názvu topicu a *MASTER URI*; při příštím spuštění tak nemusíme vše nastavovat opět znovu.



(a) Hlavní obrazovka po startu aplikace.



(b) Hlavní obrazovka v průběhu samotného ovládní robotu (po předchozím spárování aplikace s náramkem Myo a robotem).

Obrázek 4.7: Aplikace na platformě Android, která řídí robota na základě dat z náramku Myo armband.

4.2 Implementace

Implementace byla realizována v jazyce Java na platformě Android. Přitom bylo využito knihoven třetích stran, které implementaci odstínily od skutečně nízkoúrovňových záležitostí, zejména bezdrátové komunikace. Konkrétně bylo využito:

Myo SDK – Sada knihoven, které poskytují asynchronní API pro komunikaci s Myo náramkem. Naše implementace používá Myo SDK ve verzi 0.10.0 pro platformu Android. Myo SDK je šířeno pod licencí *Myo SDK license*, která je poměrně benevolentní. Autorem knihoven je společnost Thalmic Labs, která stojí za vývojem nositelného zařízení Myo armband. Rozhraní knihoven je z velké části tvořeno callback metodami, které jsou zavolány asynchronně při určité události a jako parametry si nesou potřebná data. Např. obsahuje metody, které se zavolají při nových datech z akcelerometru, gyroskopu nebo magnetometru. Obsahuje také metodu, která se zavolá při rozeznání nového gesta ruky, a toto gesto si nese jako parametr. Obsahuje také metody, které se zavolají např. při synchronizování Myo náramku, jeho připojení, odpojení apod. Obsahuje i klasické synchronní API, přes které můžeme např. aktivovat vibrace na zařízení apod.

ROSjava – Experimentální knihovny od společnosti Google, které poskytují asynchronní API pro komunikaci s ROS robotem. Naše implementace využívá knihovny ROSjava ve verzi ROS Hydro. Jedná se o čistou implementaci ROS v jazyce Java, přičemž tato implementace je zatím ve verzi alfa. ROSjava knihovny byly veřejně představeny během konference Google I/O 2011. [103] Jeden z jejich primárních cílů je přinést ROS na platformu Android [23]. Nad čistou implementací v Javě tak v rámci knihoven ROSjava existuje nadstavba pro Android, která usnadňuje jejich použití při vývoji aplikací pro tuto platformu. Rozhraní knihoven umožňuje např. vytvořit ROS uzel, implementovat jeho chování a spustit jeho vykonávání. Usnadňuje rovněž komunikaci s jiným ROS uzlem např. prostřednictvím zasílání zpráv na dané topicy. Umožňuje také vytvořit spojení s jiným ROS zařízením (na němž běží jádro ROS), takže spolu mohou komunikovat i vzdálené uzly.

Vlastní řešení se skládá ze tří souborů: *MainActivity.java*, *ROSMessagesenderNode.java* a *SettingsSingleton.java*, které představují samostatné třídy; jejich účel bude představen záhy. Aplikace kromě hlavního vlákna také sestává ze dvou vláken běžících na pozadí – jedno vlákno pro obsluhu náramku, druhé pro obsluhu robota. Tato vlákna spolu komunikují. Díky tomuto mechanismu funguje ovládání robota i pokud spustíme jinou aplikaci, protože se přeruší vykonávání hlavního vlákna, ale ne vláken běžících na pozadí. Ty se ukončí, pokud se skutečně ukončí celá aplikace.

Jednotlivé třídy:

SettingsSingleton Implementuje návrhový vzor Singleton. Obsahuje členské proměnné: *linearVelocityX* (lineární rychlost robota), *angularVelocityZ* (angulární rychlost robota) a *sleepTime* (interval posílání řídicích zpráv robotovi). Všechny tyto proměnné jsou tzv. volatilní, takže jejich změna je viditelná okamžitě např. vlákny a slouží tak k mezivláknové komunikaci. Rychlostní proměnné nastavuje vlákno, které získává data z Myo náramku a jiné vlákno, které se stará o zasílání řídicích zpráv robotovi hodnoty těchto proměnných čte a používá v zasílaných zprávách.

ROSMessagesenderNode Představuje implementaci ROS uzlu/procesu, který je vykonáván v tzv. vláknu běžícím na pozadí. Jeho hlavní činnost spočívá v periodickém zasílání řídicích zpráv typu *Twist* prostřednictvím topicu uzlu/procesu běžícím na robotu. Řídicí zpráva (blíže popsána na obrázku 4.5) sestává ze dvou vektorů typu *Vector3*. Složku v_x vektoru lineární rychlosti naplníme hodnotou proměnné *linearVelocityX* z objektu třídy *SettingsSingleton*. Ostatní jeho složky nastavíme na hodnotu 0. Složku ω_z vektoru angulární rychlosti naplníme hodnotou proměnné *angularVelocityZ* z objektu třídy *SettingsSingleton*. Ostatní jeho složky nastavíme na hodnotu 0.

MainActivity Představuje v řeči Android tzv. hlavní aktivitu aplikace. Zde se nacházejí metody pro vykreslování GUI, obsluhu jeho událostí a spouštění jiných aktivit. Obsahuje vnořenou třídu *DeviceListener*, jejíž metody představují asynchronní rozhraní, pomocí kterého jsme schopni získávat data z náramku Myo. Klíčové jsou metody *onOrientationData()* a *onPose()*. Metoda *onPose()* se zavolá vždy, když náramek zaregistruje nové gesto ruky. Na základě poskytnutého gesta, aktuálního ovládacího módu a případně stavových proměnných provádíme akce jako např. nastavení angulární a lineární rychlosti. Metoda *onOrientationData()* se zavolá vždy při poskytnutí nových orientačních dat (zhruba každých 50 ms). Z těchto orientačních dat získáváme Eulerovy úhly – *yaw* (úhel precese), *pitch* (úhel nutace) a *roll* (úhel rotace), které představují dílčí rotace vzniklé rozkladem obecné prostorové rotace [1]. Díky nim jsme schopni určit pohyb a polohu náramku v prostoru. Ostatně toto bylo již předmětem obrázku 4.4. Aplikace využívá úhly *yaw* a *pitch*. Rozsah *yaw* jak je patrné také z obrázku 4.4 je 360° (0° až -180° a 0° až 180°). Využíváme jej pro ovládání zatáčení robota. Rozsah *pitch* jak je patrné také z obrázku 4.4 je 180° (-90° až 90°). Využíváme jej pro regulaci/zvýšení rychlosti robota. Využití orientačních dat je závislé na módu ovládání robota, více o něm v další podkapitole.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1.3, GUI aplikace je schopné se přizpůsobit různým velikostem displejů, přičemž reálným limitujícím faktorem je šířka displeje. Vertikální posuvník umožňuje správné používání GUI na displejích s různou výškou. Flexibilní GUI pro různé šířky displeje je pak zajištěno několika verzemi layoutu. Tyto verze layoutu se nacházejí v odpovídajících adresářích, přičemž systém Android je sám schopný na základě fyzické velikosti displeje použít odpovídající layout. Proto se jména adresářů řídí jistou syntaxí:

layout Definuje výchozí layout. V našem případě se tento layout uplatní pro šířky displejů menší než 360 dp, což odpovídá přibližně 5.71 cm.

layout-sw360dp Definuje layout, který se použije pro displeje s šířkou od 360 dp do 480 dp, což odpovídá přibližně 7.62 cm.

layout-sw480dp Definuje layout, který se uplatní pro displeje s šířkou od 480 dp.

Výše použitá jednotka dp (Density-independent pixel) je tzv. pixel nezávislý na hustotě. Což znamená, že na obrazovce bude zabírat vždy stejnou velikost nezávisle na tom, jakou má obrazovka hustotu pixelů neboli ppi (Pixels per inch) [46]. Velikost tohoto virtuálního pixelu je ekvivalentní velikosti fyzického pixelu na obrazovce, jejíž hustota je 160 ppi. Konkrétně se jedná o hodnotu 0.1587 mm. [9]

4.3 Způsob ovládání robota

V této podkapitole se zaměříme na popis způsobu ovládání robota. Po jejím prostudování by měl čtenář umět prakticky použít vytvořený systém pro ovládání robota. Nejdříve se zaměříme na popis přípravné fáze, která spočívá v zajištění konektivity aplikace a obou zbývajících komponent (Myo náramku a robota na platformě ROS). Následně budou představeny módy ovládání robota a popsán způsob, jak jsou rozpoznána gesta a pohyby ruky převedeny na pohyby robota.

4.3.1 Příprava k ovládání

Návod na přípravu ovládání robota pomocí aplikace a náramku je takový (scénář může být i mírně odlišný od tohoto doporučeného):

1. Spustíme robota, včetně jádra ROS a uzlu, který bude odebírat na daném topicu robota příchozí zprávy.
2. Ustanovíme bezdrátové spojení pomocí Wi-Fi mezi robotem a mobilem. Typicky Android mobil vytvoří bezdrátový aktivní přístupový bod, na který se robot připojí (je vhodné nastavit robota tak, že po svém spuštění se sám pokusí připojit na předem definovaný přístupový bod, který je identifikován svým SSID).
3. Spustíme aplikaci a zadáme *MASTER URI*, což je typicky IP adresa rozhraní WLAN na robotovi, přes které je připojen k mobilu + číslo portu (standardně 11311) na kterém běží jádro ROS na robotovi. Tato IP adresa je rozhraní typicky přidělena mobilní zařízení pomocí DHCP. Tímto jsme ustanovili spojení mezi robotem a aplikací. Pokud by bylo zadáno nevalidní *MASTER URI*, budeme vyzváni k jeho opětovnému zadání.
4. Upevníme Myo náramek na předloktí a synchronizujeme pomocí synchronizačního gesta *Wave out*.
5. V aplikaci se připojíme k náramku a následně pomocí gesta *Double tap* povolíme rozpoznání gest.
6. V aplikaci nastavíme odpovídající název topicu na robotovi, do kterého bude aplikace (respektive uzel, jehož chování aplikace implementuje) publikovat řídicí zprávy a který je odebírán uzlem běžícím na robotovi. Můžeme nastavit také další možnosti, respektive parametry ovládání a připojíme se k robotovi.
7. Nyní už můžeme robota ovládat.

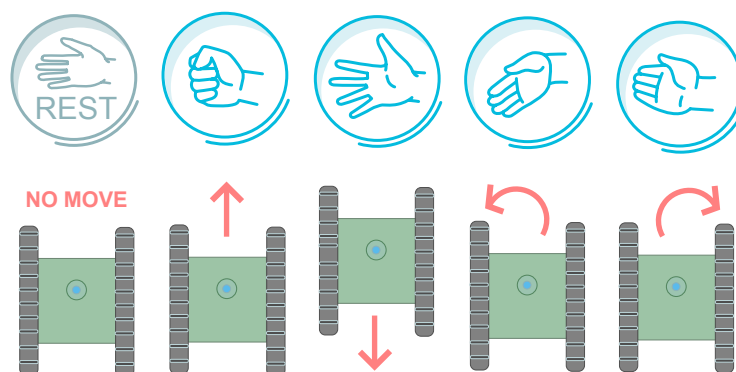
4.3.2 Módy ovládání

Ovládání robota se liší podle módů, které jsou aktivní. Tyto módy ovlivňují to, jakými gesty a pohyby ruky můžeme robota ovládat a jak na takové ovládání reaguje. V základním módu je robot ovládán čistě pomocí gest (4 gesta pro čtyři pohyby – dopředu, dozadu, zatáčení doleva a zatáčení doprava). V jeden čas tak může robot vykonávat jen jeden typ pohybu. Toto ilustruje obrázek 4.8.

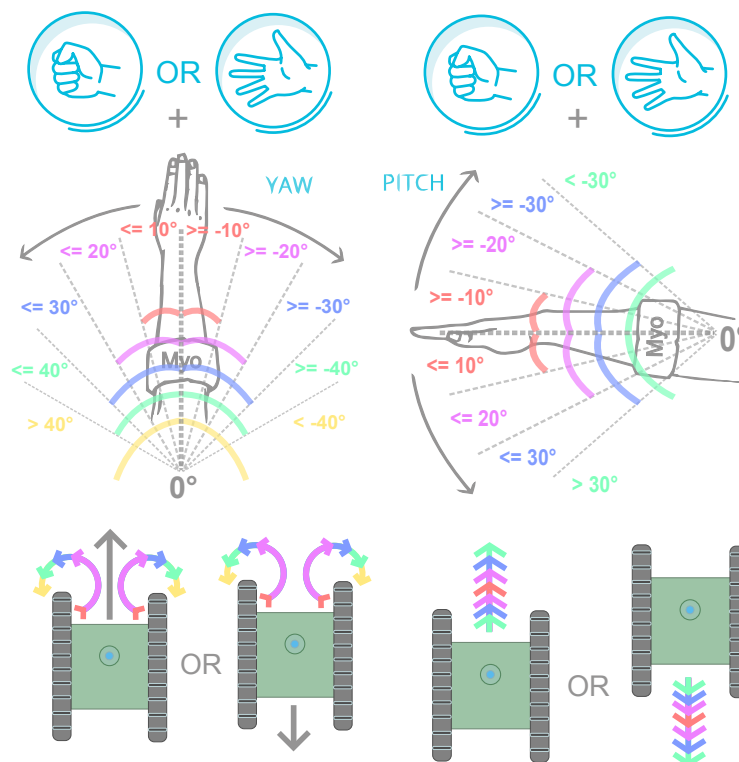
Pokud je povolen pokročilý *advanced* mód, tak navíc můžeme robota ovládat pomocí pohybů ruky (zatáčet, zvyšovat rychlost a měnit intenzity těchto pohybů robota). A to za

předpokladu, že uživatel drží při pohybech ruky jedno z gest *Fist* nebo *Fingers Spread*. V jeden čas tak může robot vykonávat více typů pohybů. Pokud rukou zatačíme doleva, zatačí i robot doleva, pokud doprava, robot zatačí doprava. Existují přitom 4 velikosti úhlové rychlosti (zatačení) a to základní a pak její násobky 1.3 , 1.6 a 1.9 . Obdobně pokud ruku zvedáme výše, robot jede rychleji a pokud s ní klesáme, klesá i lineární rychlost robota. Zde existují také 4 velikosti lineární rychlosti a to základní a pak v případě snižování rychlosti její násobky 0.7 , 0.4 a 0.1 a v případě zvyšování rychlosti její násobky 1.3 , 1.6 a 1.9 . Všechny změny rychlostí jsou odstupňovány po 10° úhlů *yaw* nebo *pitch* a výchozí hodnota pro tyto úhly je vždy ta, při kterém uživatel provede gesto *Fist* nebo *Fingers Spread*. Výše zmíněné koeficienty, kterými se násobí základní lineární a angulární rychlost a také úhel, po kterém jsou odstupňovány změny rychlosti, stejně tak jako počet stupňů rychlosti byly určeny empiricky. Tento mód ilustruje obrázek 4.9.

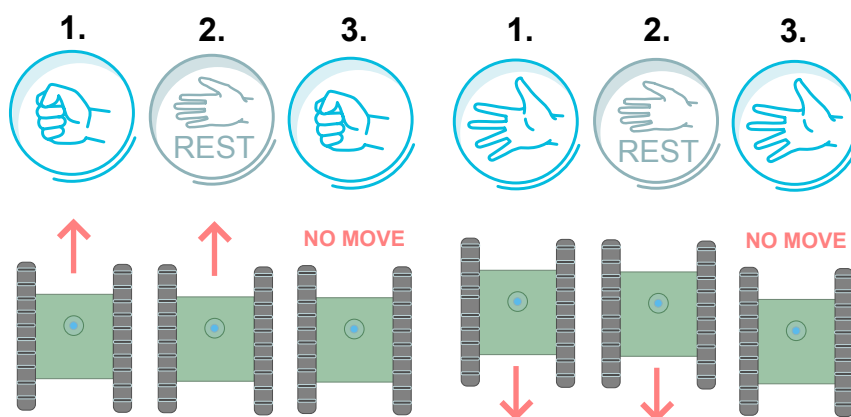
Pokud je povolen experimentální *experimental* mód, tak gesta pro pohyb není nutné držet po celou dobu, co chceme, aby probíhal daný pohyb, ale stačí je provést jednou a pro skončení pohybu provést znovu. Neunavujeme si tak ruce a navíc, pokud je vypnutý pokročilý mód, můžeme při pohybu vpřed/vzad stále zatačet pomocí příslušného gesta *Wave in* nebo *Wave out*. V jeden čas tak může robot vykonávat více pohybů, nemůže však měnit jejich intenzitu. Tento mód ilustruje obrázek 4.10.



Obrázek 4.8: Základní mód, kdy je robot ovládán pomocí čtyř gest. (Obrázek vytvořen na základě zdroje: [22])



Obrázek 4.9: Pokročilý mód, který umožňuje ovládní pohybem ruky během jízdy vpřed nebo vzad. Robot tak může za jízdy zatáčet a zvyšovat/snižovat rychlost. (Obrázek vytvořen na základě zdrojů: [84, 22])



Obrázek 4.10: Experimentální mód šetří naše svaly, aby robot jel dopředu nebo dozadu, stačí provést gesto jedenkrát a není nutné jej držet po celou dobu pohybu. (Obrázek vytvořen na základě zdrojů: [22])

4.4 Úvahy nad vytvořeným řešením

Tato kapitola již nepopisuje žádným způsobem vytvořené řešení, ale zaměřuje se na otázky, které s daným řešením souvisí. Např. jakým způsobem probíhalo testování, jaký je možný budoucí vývoj a také jaká je přidaná hodnota práce nad rámec zadání.

4.4.1 Testování a experimenty

Průběžné testování aplikace během jejího vývoje neprobíhalo na reálném robotovi, ale pro tento účel byl využit grafický simulátor ROS robota s názvem *turtlesim*. Tento simulátor obsahuje jediný grafický objekt a to želvu, která simuluje pojízdného/mobilního robota. Může se tak pohybovat dopředu/dozadu a otáčet se doleva/doprava a to na základě řídicích zpráv typu Twist. Tento simulátor byl nainstalován na Ubuntu společně s jádrem ROS. Průběžná testovací sestava tak kromě Myo náramku a Android aplikace zahrnovala také počítač na platformě Ubuntu se spuštěným simulátorem robota. Jelikož byl ovládaný robot virtuální, reagoval na ovládání velmi přesně a pro ladění aplikace byl naprosto ideální. V určitých fázích vývoje byla také aplikace testována na reálném robotovi Trilobotovi, který byl popsán v podkapitole 4.1.2. Reálný robot má oproti virtuálnímu mírně odlišné charakteristiky, takže jej není možné ovládat s takovou přesností a precizností jako virtuálního. Nemusí to platit pro všechny roboty, nicméně reálný robot, na kterém byla možnost ovládání vyzkoušet, nevykazoval charakteristiky zcela ideálního robota. Např. rychlost otáčení kolísala a občas byla u robota zaznamenána i určitá vůle zatačet na jednu stranu. Ovládání reálného robota je však mnohem hmatatelnější a zábavnější, což kompenzuje jisté neduhy, kterými trpí.

4.4.2 Směr dalšího vývoje

Vytvořená aplikace se může samozřejmě dále vyvíjet. V současné podobě plní svůj úkol, kterým je ovládání pojízdných robotů s využitím Myo náramku, poměrně dobře. Bylo by ji ale možné rozšířit, aby byla schopna ovládat i další typy robotů, nejen ty pojízdné. Poměrně snadno by se dala uzpůsobit např. pro nějaké základní ovládání dronů (na platformě ROS), protože ty také přijímají zprávy typu Twist. U jiných typů robotů už by to bylo složitější a bylo by nejspíše potřeba navrhnout nové ovládání zcela od začátku. Přesto aplikace implementuje jakousi univerzální architekturu, na které by se další podobná řešení mohla vybudovat mnohem snáze, než kdyby se měla vymýšlet a implementovat úplně od začátku. Také by bylo možné aplikaci rozšířit, aby nejen ovládala roboty a posílala jim jedním směrem řídicí zprávy, ale aby také od robota přijímala nějaká data. Např. by mohla přijímat obraz z kamery na robotovi. A na základě tohoto obrazu by mohla automaticky detekovat překážky před robotem a při zapnutém bezpečném módu by mohla robota zastavit, aniž by k tomu dala ovládající osoba pokyn pomocí příslušného gesta. Možností je tedy celá řada.

4.4.3 Přidaná hodnota nad rámec zadání

Primárním cílem práce bylo splnit zadání. Přesto se podařilo přidat i něco navíc. Např. u teoretické části byla oproti zadání zpracována poměrně detailně historie nositelných zařízení, která nám umožňuje chápat lépe vývojové trendy nejen nositelných zařízení. V rámci praktické části práce zase vznikla mobilní aplikace, která nejenže vhodně demonstuje využití nositelných zařízení, ale je prakticky orientovaná a použitelná. Je i poměrně inovativní a na

oficiálních kanálech podobné řešení nenalezneme. Nemůžeme také opomenout nadmíru provedené obrázky, které v rámci praktické části ilustrují vytvořené řešení. V neposlední řadě bylo natočeno asi dvanáctiminutové video, které demonstruje použití vytvořeného systému na reálném robotovi. Díky videu můžeme vidět vytvořené řešení v akci. Práce byla také představena v rámci konference Excel@FIT a byla prezentována pro českou televizi, která danou reportáž zařadila do vysílání pořadu: *Události v regionech (Brno)* ze dne 4. 5. 2016 (čas 17:40).

Kapitola 5

Závěr

V této práci byla představena nositelná zařízení, jejich historie, současné možnosti aplikace v různých odvětvích a možné budoucí trendy. Z technického pohledu jsme se také podívali na princip činnosti některých rozhraní pro bezdrátovou komunikaci, které se u nositelných zařízení běžně vyskytují. Tato čistě teoretická část by se mohla dále rozvíjet v různých směrech. Bylo by možné zpracovat analýzu trhu s chytrými zařízeními nebo např. podrobněji zpracovat úvahy o směrech, jakými by se mohla nositelná zařízení v budoucnu ubírat. Také by mohlo být zajímavé zaměřit se více na podmnožinu nositelných zařízení a to na implantovaná zařízení. Možností dalšího vývoje teoretické části práce je celá řada, neboť se zaměřila na základní aspekty související s nositelnými zařízeními a jako prostředek k tomuto použila přehledový výklad. Jejím cílem bylo i do jisté míry připravení půdy pro praktickou část práce.

V praktické části práce bylo představeno možné využití nositelných zařízení pro ovládní robota na konkrétním realizovaném řešení. Toto řešení bylo v dalších kapitolách dále rozvíjeno. Byla popsána jeho architektura a její komponenty. Zde jsme se dozvěděli, že celý systém ovládní robota pomocí nositelného zařízení sestává ze tří klíčových komponent. První komponentou je nositelné zařízení Myo armband, které je vybaveno senzory jako akcelerometr, gyroskop, magnetometr, které jsou schopné detekovat polohu a pohyb zařízení v prostoru a EGM senzory, které jsou schopné detekovat svalovou aktivitu a na základě nich zařízení umožňuje detekovat základní gesta ruky. Další komponentou je mobilní aplikace na platformě Android, která pomocí technologie Bluetooth LE čte data ze senzorů a na základě nich pomocí algoritmu zasílá prostřednictvím technologie Wi-Fi řídicí zprávy třetí komponentě a to pojízdnému robotovi, který je poháněn Robotickým operačním systémem. V další kapitole byla detailněji rozebrána implementace aplikace a také způsob ovládní robota.

Hlavním výsledkem práce a přínosem autora je Android aplikace pro ovládní pojízdných robotů na platformě ROS. Kromě aplikace je podmínkou disponovat nositelným zařízením Myo armband. Kombinace těchto dvou komponent pak vytváří zajímavý, obecný, flexibilní, přenositelný a především prakticky použitelný systém, který je schopen řídit širokou množinu robotů. Vývojáři a výzkumníci mohou použít představenou aplikaci pro ovládní svého pojízdného robota, který běží na platformě ROS. Také mohou aplikaci rozšířit za účelem ovládní i dalších typů ROS robotů. Já osobně zatím žádné další úpravy aplikace neplánuji, neboť svůj účel plní poměrně dobře, a tak pro to není důvod. Zatím jediný můj záměr je publikovat ji na Google Play a zpřístupnit tak širší veřejnosti.

Literatura

- [1] *Eulerův úhel* [online]. TNC-Training, ©2012 [cit. 2016-04-02].
URL <http://content.heidenhain.de/presentation/elearning/CZ/index/1271254390533/1271254390544/1271254390553/1271254390556/1271254390556.html>
- [2] *What is wearable tech? Everything you need to know explained* [online]. Wareable, 2014 [cit. 2015-12-03].
URL <http://www.wearable.com/wearable-tech/what-is-wearable-tech-753>
- [3] *Velký průvodce: Fenomén zvaný nositelná elektronika* [online]. CZC.CZ, 8. 4. 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.czc.cz/velky-pruvodce-fenomen-zvany-nositelna-elektronika/clanek>
- [4] *geometry_msgs/Twist Message* [online]. autogenerated on 25 Feb 2016 [cit. 2016-05-10].
URL http://docs.ros.org/api/geometry_msgs/html/msg/Twist.html
- [5] *Bluetooth Technology Basics* [online]. Bluetooth, [cit. 2016-03-15].
URL <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics>
- [6] *vitatron c-series pacemaker (2003)* [online]. weebly, [cit. 2016-03-15].
URL <http://yh5vms266final.weebly.com/vitatron-c-series-pacemaker-2003.html>
- [7] *Fungování slunečních elektráren* [online]. Skupina ČEZ, [cit. 2016-04-14].
URL <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/slunce/flash-model-jak-funguje-slunecni-elektrarna.html>
- [8] *Android Auto* [online]. android, [cit. 2016-05-10].
URL <https://www.android.com/auto/>
- [9] *Supporting Multiple Screens* [online]. Android Developers, [cit. 2016-05-10].
URL http://developer.android.com/guide/practices/screens_support.html
- [10] *Nike+ iPod Sensor* [online]. alza.cz, ©1994 - 2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://www.alza.cz/apple-nike-ipod-sensor-d202404.htm>
- [11] *Specifikace Samsung R322 Gear VR Lite* [online]. Heureka, ©2000 - 2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://chytre-bryle.heureka.cz/samsung-r322-gear-vr-lite/specifikace/>

- [12] *Linear And Angular Velocity* [online]. Chegg, ©2003-2016 [cit. 2016-03-25].
URL http://www.chegg.com/homework-help/definitions/linear-and-angular-velocity-65?adobe_reloaded=true
- [13] *COMPUCHRON HUGHES AIRCRAFT CALCULATOR LED 1976* [online]. crazzywatches, ©2005 - 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.crazywatches.pl/compuchron-hughes-aircraft-calculator-led-1976>
- [14] *HEWLETT PACKARD HP-01 CALCULATOR 1977* [online]. crazzywatches, ©2005 - 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.crazywatches.pl/hewlett-packard-hp-01-calculator-1977>
- [15] *HEWLETT PACKARD HP-01 CALCULATOR 1977* [online obrázek]. crazzywatches, ©2005 - 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.crazywatches.pl/hewlett-packard-hp-01-calculator-1977>
- [16] *PULSAR CALCULATOR TIME COMPUTER LED 1975* [online]. crazzywatches, ©2005 - 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.crazywatches.pl/pulsar-calculator-time-computer-led-1975>
- [17] *Technologie Nike+* [online]. Total store, ©2008 - 2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.total-store.cz/nike-plus>
- [18] *Casio Watch Manual: Module 246* [online]. MY G-SHOCK, ©2011 [cit. 2016-03-15].
URL <http://mygshock.com/casio-manual/246/>
- [19] *Nelsonic Space Attacker* [online]. HANDHELD MUSEUM, ©2011 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.handheldmuseum.com/Nelsonic/SpaceAttacker.htm>
- [20] *Wearables: nositelná elektronika* [online]. CZ.NIC: Jak na Internet, ©2012 - 2014 [cit. 2015-12-03].
URL <http://www.jaknainternet.cz/page/2597/wearables---nositelna-elektronika/>
- [21] *Tech Specs* [online]. Myo, ©2013 - 2016 [cit. 2016-03-24].
URL <https://www.myo.com/techspecs>
- [22] *Tech Specs* [online obrázek]. Myo, ©2013 - 2016 [cit. 2016-03-25].
URL <https://www.myo.com/techspecs>
- [23] *rosjava_core 0.1.6 documentation: OVERVIEW* [online]. rosjava, ©2013 [cit. 2016-05-10].
URL http://rosjava.github.io/rosjava_core/latest/overview.html#android-friendly
- [24] *Wearable Technology* [online]. Investopedia, ©2015 [cit. 2015-12-03].
URL <http://www.investopedia.com/terms/w/wearable-technology.asp?layout=infini>

- [25] *The future of retail with wearable technology* [online]. RETAIL INNOVATION, ©2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://retail-innovation.com/the-future-of-retail-with-wearable-technology/>
- [26] *Apple Pay* [online]. Apple, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.apple.com/apple-pay/>
- [27] *Bluetooth* [online obrázek]. Bluetooth SIG, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://www.bluetooth.com/>
- [28] *Criminal Ankle Bracelet* [online]. Actron Systems, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.actronsystems.com/police-criminal-ankle-bracelet-tether-tracking-monitoring.html>
- [29] *Google Glass: Hardware Overview* [online obrázek]. The University of Iowa, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://its.uiowa.edu/support/article/102167>
- [30] *Headset Profile (HSP)* [online]. Bluetooth, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/HSP.aspx>
- [31] *Health Device Profile (HDP)* [online]. Bluetooth, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/HDP.aspx>
- [32] *Heart Rate Profile (HRP)* [online]. Bluetooth, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/HRP.aspx>
- [33] *HID Over GATT Profile (HOGP)* [online]. Bluetooth, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/HOGP.aspx>
- [34] *January 1984: Release of databank telephone number storage wristwatch* [online]. CASIO, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://world.casio.com/corporate/history/chapter02/contents09/>
- [35] *Our History* [online]. Bluetooth, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://www.bluetooth.com/media/our-history>
- [36] *Profiles Overview* [online]. Bluetooth, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/Profiles.aspx>
- [37] *Who We Are* [online]. Wi-Fi Alliance, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.wi-fi.org/who-we-are>
- [38] *Who We Are: Our Brands* [online obrázek]. Wi-Fi Alliance, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.wi-fi.org/who-we-are/our-brands>
- [39] *Myo armband* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 1 January 2016 [cit. 2016-03-24].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Myo_armband

- [40] *Bluetooth low energy* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 1 March 2016 [cit. 2016-03-15].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy
- [41] *Android Auto* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 10 April 2016 [cit. 2016-05-10].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Android_Auto
- [42] *Android Wear* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 10 May 2016 [cit. 2016-05-10].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Android_Wear
- [43] *Smartwatch* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 14 March 2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://en.wikipedia.org/wiki/Smartwatch>
- [44] *Apple Pay* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 15 March 2016 [cit. 2016-03-15].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Apple_Pay
- [45] *Wi-Fi* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 16 March 2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- [46] *Pixel density* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 22 February 2016 [cit. 2016-05-10].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Pixel_density
- [47] *History of hearing aids* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 25 February 2016 [cit. 2016-03-15].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_hearing_aids
- [48] *Bluetooth Special Interest Group* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 25 January 2016 [cit. 2016-03-15].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Special_Interest_Group
- [49] *Electronic tagging* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 26 February 2016 [cit. 2016-03-15].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_tagging
- [50] *Wi-Fi Alliance* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 4 February 2016 [cit. 2016-03-15].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Alliance
- [51] *Wi-Fi Alliance* [online obrázek]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 4 February 2016 [cit. 2016-03-15].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Alliance
- [52] *Nuremberg eggs* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 5 December 2015 [cit. 2015-12-17].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Nuremberg_eggs

- [53] *Steve Mann* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 5 March 2016 [cit. 2016-03-15].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Steve_Mann
- [54] *Wireless LAN* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 5 March 2016 [cit. 2016-03-15].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN
- [55] *Android (operating system)* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 5 May 2016 [cit. 2016-05-10].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Android_%28operating_system%29
- [56] *Powered exoskeleton* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 7 April 2016 [cit. 2016-04-14].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Powered_exoskeleton
- [57] *Pulsar (watch)* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 9 March 2016 [cit. 2016-03-15].
URL [https://en.wikipedia.org/wiki/Pulsar_\(watch\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pulsar_(watch))
- [58] *Sousveillance* [online obrázek]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 9 March 2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WearableWirelessWebcamSteveMannVisualFilter1994December13th.png>
- [59] *Android TV* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Last modified on 9 May 2016 [cit. 2016-05-10].
URL https://en.wikipedia.org/wiki/Android_TV
- [60] *FAQ: Does Bluetooth low energy feature a piconet as in classic BT?* [online]. Laird, Last Updated: Jan 28, 2014 [cit. 2016-03-15].
URL https://laird-ews-support.desk.com/customer/portal/articles/1430636-faq-does-bluetooth-low-energy-feature-a-piconet-as-in-classic-bt-?b_id=1945
- [61] *EMG Sampling Rate* [online]. Myo Developer, March 7, 2015 [cit. 2016-03-25].
URL <https://developer.thalmic.com/forums/topic/1945/>
- [62] *The History of Wearable Tech* [online]. incitrio, May 27th, 2014 [cit. 2016-03-15].
URL <http://incitrio.com/the-history-of-wearable-tech/>
- [63] *Personal Area Network* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Naposledy editováno 10. 3. 2013 [cit. 2016-03-15].
URL https://cs.wikipedia.org/wiki/Personal_Area_Network
- [64] *Google Glass* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Naposledy editováno 11. 4. 2015 [cit. 2016-03-15].
URL https://cs.wikipedia.org/wiki/Google_Glass
- [65] *IEEE 802.11* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Naposledy editováno 19. 2. 2016 [cit. 2016-03-15].
URL https://cs.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

- [66] *Kardiostimulátor* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Naposledy editováno 20. 2. 2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kardiostimul%C3%A1tor>
- [67] *Bluetooth* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Naposledy editováno 23. 1. 2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://cs.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [68] *Wi-Fi Alliance* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Naposledy editováno 25. 7. 2015 [cit. 2016-03-15].
URL https://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Alliance
- [69] *Wi-Fi* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Naposledy editováno 4. 2. 2016 [cit. 2016-03-15].
URL <https://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- [70] *FHSS* [online]. Wikipedia: the free encyclopedia, Naposledy editováno 8. 2. 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <https://cs.wikipedia.org/wiki/FHSS>
- [71] Adams, D.: *Digital parenting: The best baby tech and connected baby monitors* [online]. Wareable, March 7, 2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.wareable.com/parenting/the-best-wearables-babies-smart-baby-monitors>
- [72] Adams, D.: *The best kids trackers: Using wearables for child safety* [online]. Wareable, November 10, 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.wareable.com/internet-of-things/the-best-kids-trackers>
- [73] Affairs, P.; Berkeley, U.: *A new-generation exoskeleton helps the paralyzed to walk* [online]. Berkeley News, February 3, 2016 [cit. 2016-04-14].
URL <http://news.berkeley.edu/2016/02/03/a-new-generation-exoskeleton-helps-the-paralyzed-to-walk/>
- [74] Beal, V.: *Wi-Fi* [online]. webopedia, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.webopedia.com/TERM/W/Wi-Fi.html>
- [75] bekti: *How Bluetooth Works* [online]. technoHOLIC, 30 November 2007 [cit. 2016-03-15].
URL <http://mujiholic-technoholic.blogspot.cz/2007/11/how-bluetooth-works.html>
- [76] Bourne, J.: *What does Apple Pay mean for the future of the Apple Watch?* [online]. WearableTech, 16 July 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.wearabletechnology-news.com/news/2015/jul/16/what-does-apple-pay-mean-future-apple-watch/>
- [77] Butler, K.: *What is Bluetooth 4.0?* [online]. LAPTOP, March 1, 2012 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.laptopmag.com/articles/just-what-is-bluetooth-4-0-anyway>

- [78] Chon, S.: *This Bra Insert Detects Early Signs of Breast Cancer* [online obrázek]. BRIT+CO, March 2, 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.brit.co/itbra-breast-cancer/>
- [79] Christensson, P.: *Wi-Fi* [online]. TechTerms, Updated 11 March 2014 [cit. 2016-03-15].
URL <http://techterms.com/definition/wi-fi>
- [80] Clark, L.: *Watch this Lego designer control a robot with his exoskeleton* [online]. wired.co.uk, 29 July 15 [cit. 2016-04-03].
URL <http://www.wired.co.uk/news/archive/2015-07/29/exoskeleton-lego-robot-video>
- [81] Conley, K.: *Nodes* [online]. ROS.org, Naposledy editováno 2012-02-03 [cit. 2016-05-10].
URL <http://wiki.ros.org/Nodes>
- [82] Štěpán Dalecký, P. S. a. k.: *SmartMowers as a Part of a SmartCity*. ICCS 2016, 2016.
- [83] Desjardins, J.: *The History of Wearable Technology* [online]. Visual Capitalist, May 20, 2015 [cit. 2015-12-17].
URL <http://www.visualcapitalist.com/the-history-of-wearable-technology/>
- [84] Difranco, M.: *GUI without the G: Going Beyond the Screen with the Myo Armband* [online obrázek]. Myo blog, Mar 11th, 2014 [cit. 2016-03-30].
URL <http://developerblog.myo.com/gui-without-g-going-beyond-screen-myotm-armband/>
- [85] Dirk, T.: *ROS Introduction* [online]. ROS.org, Naposledy editováno 2014-05-22 [cit. 2016-03-25].
URL <http://wiki.ros.org/ROS/Introduction>
- [86] Dostovski, A.: *KEITH TAFT: BLACKJACK COMPUTER GENIOUS* [online]. Gambling Stories, Posted on 4/17/2014 [cit. 2015-12-17].
URL <http://www.gambling-stories.com/2014/04/keith-taft-blackjack-computer-genious.html>
- [87] Forouher, D.: *Topics* [online]. ROS.org, Naposledy editováno 2014-06-01 [cit. 2016-05-10].
URL <http://wiki.ros.org/Topics>
- [88] Ganguli, M.: *Getting Started with Bluetooth*. Premier Press, 2002, ISBN 1-931841-83-7.
- [89] Gaurav: *iSwimband aquatic safety system prevents accidental drowning of kids* [online obrázek]. DamnGeeky, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.damngeeky.com/2014/07/07/22657/iswimband-aquatic-safety-system-prevents-accidental-drowning-kids.html>
- [90] Hájek, P.; Hartman, Z.; Vopálenský, R.: *Modernizace Trilobota* [el. dokument]. 23. prosince, 2015.

- [91] Haymaker, M.: *Using Health IT to Detect Breast Cancer* [online]. Cisco Blogs, October 6, 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://blogs.cisco.com/healthcare/using-health-it-to-detect-breast-cancer>
- [92] Health, C.: *Core Technology* [online]. Cyrcadia Health, [cit. 2016-03-15].
URL <http://cyrcadiahealth.com/core-technology/>
- [93] Hess, J. C.: *Top 5 Energy Harvesting Options for Wearable Devices* [online]. Avnet, ©2016 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.em.avnet.com/en-us/design/technical-articles/Pages/Articles/Top-5-Energy-Harvesting-Options-for-Wearable-Devices.aspx>
- [94] Huang, A.; Rudolph, L.: *Bluetooth Essentials for Programmers*. Cambridge University Press, 2007, ISBN 978-0-521-70375-8.
- [95] IndustryRhythms: *World's First Fully Digital Pacemaker From Vitatron Wins FDA Clearance* [online]. IndustryRhythms: Company Press Release, [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.medscape.com/pages/editorial/pressreleases/pr-crm-medtronic26>
- [96] ire: *Probační a mediační služba ohlásila veřejnou zakázku na elektronické náramky* [online]. Česká justice, 3.1.2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.ceska-justice.cz/2015/01/probacni-a-mediacni-sluzba-ohlasila-verejnou-zakazku-na-elektronicke-naramky/>
- [97] Jary, S.: *Smartwatches vs activity trackers: Wearable fitness tech gets serious* [online obrázek]. TechAdvisor, 14 Feb 14 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.pcadvisor.co.uk/news/gadget/smartwatches-vs-activity-trackers-3502082/>
- [98] Jimb0: *Bluetooth Basics* [online]. sparkfun, [cit. 2016-05-10].
URL <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics/how-bluetooth-works>
- [99] Karásek, J.: *Google Glass už si nekoupíte: Program Explorer končí a vývoj se stěhuje k Nestu* [online]. SMARTmania, 16.1.2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://smartmania.cz/bleskovky/google-glass-uz-si-nekoupite-program-explorer-konci-a-vyvoj-se-stehuje-k-nestu-9955>
- [100] Kasík, P.: *Italové pomůžou Googlu oživit chytré brýle. Jak budou konkurovat hodinkám?* [online]. mobil.idnes.cz, 30. dubna 2015 [cit. 2016-03-15].
URL http://mobil.idnes.cz/google-ozivuje-chytre-bryle-d15-/mob_tech.aspx?c=A150429_144512_mob_tech_pka
- [101] Kiana, T.; Michael, A.: *Wearable Technology and Wearable Devices: Everything You Need to Know* [online]. Wearable Devices Magazine, Updated: March 26, 2014 [cit. 2015-12-03].
URL <http://www.wearabledevices.com/what-is-a-wearable-device/>

- [102] Knoblauch, M.: *The History of Wearable Tech: From the Casino to the Consumer* [online]. Mashable, May 13, 2014 [cit. 2016-03-15].
URL <http://mashable.com/2014/05/13/wearable-technology-history/#DkjBwNV1XZqp>
- [103] Kohler, D.: *README.md* [online]. github, Latest commit on 21 Oct 2013 [cit. 2016-05-10].
URL https://github.com/rosjava/rosjava_core
- [104] Kovařík, D.: *Bluetooth - modrozub pod drobnohledem (vědecké okénko)* [online]. Mobilizujeme.cz, 18. 12. 2011 [cit. 2016-03-15].
URL <http://mobilizujeme.cz/clanky/bluetooth-modrozub-pod-drobnohledem-vedecke-okenko/>
- [105] Köhre, T.: *Stavíme si bezdrátovou síť Wi-Fi*. Computer Press, 2004, ISBN 80-251-0391-9.
- [106] Melanson, D.: *Gaming the system: Edward Thorp and the wearable computer that beat Vegas* [online]. Engadget, 09.18.13 [cit. 2015-12-17].
URL <http://www.engadget.com/2013/09/18/edward-thorp-father-of-wearable-computing/>
- [107] Melanson, D.: *Gaming the system: Edward Thorp and the wearable computer that beat Vegas* [online obrázek]. Engadget, 09.18.13 [cit. 2015-12-17].
URL <http://www.engadget.com/2013/09/18/edward-thorp-father-of-wearable-computing/>
- [108] News, C.: *Wearable GPS tracking for children, to ease parents' minds* [online]. CBS News, July 9, 2014 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.cbsnews.com/news/wearable-gps-tracking-for-children-to-ease-parents-minds/>
- [109] News, C.: *Wearable GPS tracking for children, to ease parents' minds* [online obrázek]. CBS News, July 9, 2014 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.cbsnews.com/news/wearable-gps-tracking-for-children-to-ease-parents-minds/>
- [110] Nilsson, R.; Saltzstein, B.: *Bluetooth Low Energy vs. Classic Bluetooth: Choose the Best Wireless Technology For Your Application* [online]. MED, June 08, 2012 [cit. 2016-05-10].
URL <http://www.medicalelectronicsdesign.com/article/bluetooth-low-energy-vs-classic-bluetooth-choose-best-wireless-technology-your-application>
- [111] Oaks, B.: *iSwimband drowning detection system big hit at CES* [online obrázek]. Cerebral-Overload, January 2014 [cit. 2016-03-15].
URL <http://cerebral-overload.com/2014/01/iswimband-drowning-detection-system-big-hit-ces/>
- [112] Poole, I.: *Bluetooth Technology Tutorial* [online]. Radio-Electronics.com, [cit. 2016-03-15].

- URL http://www.radio-electronics.com/info/wireless/bluetooth/bluetooth_overview.php
- [113] Public Affairs, U. B.: *A new-generation exoskeleton helps the paralyzed to walk* [online obrázek]. Berkeley News, February 3, 2016 [cit. 2016-04-14].
URL <http://news.berkeley.edu/2016/02/03/a-new-generation-exoskeleton-helps-the-paralyzed-to-walk/>
- [114] Rhodes, B.: *A brief history of wearable computing* [online]. The MIT Wearable Computing Web Page, [cit. 2016-03-15].
URL <https://www.media.mit.edu/wearables/lizzy/timeline.html#1994d>
- [115] Rybka, M.: *Proč jsme zaspali dva tisíce let, než jsme přišli k počítačům?* [online]. PCTuning, Publikováno 1. 8. 2014 [cit. 2015-12-17].
URL <http://pctuning.tyden.cz/multimedia/hry-a-zabava/30555-proc-jsme-zaspali-dva-tisice-let-nez-jsme-prisli-k-pocitacum?start=3>
- [116] SAMSUNG: *Gear VR* [online]. SAMSUNG, [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.samsung.com/global/galaxy/wearables/gear-vr/>
- [117] SAMSUNG: *Gear VR* [online obrázek]. SAMSUNG, [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.samsung.com/global/galaxy/wearables/gear-vr/>
- [118] Sawaya, S.: *The Story of the First Wearable Computer* [online]. February 16, 2014 [cit. 2015-12-17].
URL <http://www.sandrasawaya.com/2014/02/16/the-story-of-the-first-wearable-computer/>
- [119] Schumacher, F.: *Energy Harvesting for Wearables* [online]. Wearable Technologies, July 2, 2014 [cit. 2016-04-14].
URL <https://www.wearable-technologies.com/2014/07/energy-harvesting-for-wearables/>
- [120] Semiconductor, N.: *A short history of Bluetooth* [online]. NORDIC SEMICONDUCTOR, 2014/07/14 [cit. 2016-03-15].
URL <https://www.nordicsemi.com/eng/News/ULP-Wireless-Update/A-short-history-of-Bluetooth>
- [121] serveru, R. H.: *Bezdrátové datové spoje ve volném ISM pásmu 2,4 GHz* [online]. vyvoj.hw.cz, 11. Duben 2002 [cit. 2016-03-15].
URL <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/bezdratove-datove-spoje-ve-volnem-ism-pasmu-24-ghz.html>
- [122] Slovick, M.: *Implantable Microchips are the Ultimate Wearable* [online]. Consumer Technology Association: IT IS INNOVATION, JANUARY 07, 2015 [cit. 2015-12-03].
URL <http://www.cta.tech/i3/Features/2015/January-February/Implantable-Microchips-are-the-Ultimate-Wearable.aspx>
- [123] Smith, C.: *By the Numbers: 85+ Amazing Android Statistics* [online]. DMR, Last Updated May 6, 2016 [cit. 2016-05-10].
URL <http://expandedramblings.com/index.php/android-statistics/>

- [124] Sosinsky, B.: *Mistrovství – počítačové sítě*. Computer Press, 2010, ISBN 978-80-251-3363-7.
- [125] SunFriend: *How to track your sun exposure with SunFriend* [online]. SunFriend, [cit. 2016-03-15].
URL <http://sunfriend.com/pages/product-instructions>
- [126] Trčálek, A.: *Všechno, co byste měli vědět o Wi-Fi* [online]. zive, 14. března 2012 [cit. 2016-05-10].
URL <http://www.zive.cz/clanky/vsechno-co-byste-meli-vedet-o-wi-fi/omezena-pasma-a-standardy-anteny/sc-3-a-162796-ch-80485/default.aspx>
- [127] VŠETEČKA, R.: *Chytré kontaktní čočky od Googlu se ukáží na začátku příštího roku* [online]. IDNES.cz: Technet cz, 16. červenec 2014 [cit. 2015-12-03].
URL http://technet.idnes.cz/chytre-kontaktni-cocky-google-dec-/hardware.aspx?c=A140715_141049_hardware_vse
- [128] Washington, E.: *Fundamentals of Wireless LANs 1.2 Module 4: Wireless Topologies* [online]. SlidePlayer, Modified 8 years ago [cit. 2016-05-10].
URL <http://slideplayer.com/slide/4774593/>
- [129] Wheeldon, G.: *Wearable tech and the future: from solar clothes to smart tattoos* [online]. techradar.com, February 06, 2015 [cit. 2016-03-15].
URL <http://www.techradar.com/news/portable-devices/wearable-tech-and-the-future-from-solar-clothes-to-smart-tattoos-1283713/2>
- [130] Xinhua: *Huizhou people's abacus complex* [online obrázek]. China Dail, Updated: 2006-07-20 [cit. 2015-12-17].
URL http://www.chinadaily.com.cn/china/2006-07/20/content_645797_4.htm
- [131] Zechner, M.: *Beginning Android Games*. Apress, 2011, ISBN 978-1-4302-3042-7.

Přílohy

Seznam příloh

A Obsah CD

59

Příloha A

Obsah CD

Tištěná verze práce je dodávána s CD nosičem, který obsahuje kromě elektronické verze bakalářské práce, také instalační soubor na platformu Android typu .apk, který představuje vytvořenou aplikaci připravenou k nainstalování. Dále obsahuje programové řešení ve formě projektu pro Android studio, ve kterém je možné případně upravovat nebo prohlížet si zdrojové kódy. Na CD nosiči je také stručný manuál pro překlad, spuštění a používání vytvořené aplikace. Poslední důležitou součástí CD je také demonstrační, asi dvanáctiminutové video, které ukazuje vytvořené programové řešení v praxi. Konkrétně je na videu zachycen způsob ovládání fakultního robota Trilobota pomocí nositelného zařízení Myo armband a mobilní aplikace. Video se zaměřuje na představení celého řešení, popisu přípravné fáze a nakonec i demonstraci ovládání robota při různých módech ovládání. Video se natáčelo v areálu Fakulty informačních technologií VUT.

Toto CD s podpůrnými materiály přirozeně nelze přiložit k elektronické verzi práce v .pdf formátu. Proto jsou zde uvedeny také odkazy na tyto materiály:

- **Elektronická verze bakalářské práce, soubor .apk, programové řešení ve formě projektu pro Android studio a stručný manuál** se nachází na <https://bitbucket.org/herch/myo-controlled-ros-robot>.
- **Demonstrační video** se nachází na <https://youtu.be/YxCJ0-kbtpw>.