FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ČVUT V PRAZE

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Název:	Zařízení sloužící k podpoře outdoorových aktivit
Student:	Bc. Tomáš Čermák
Vedoucí:	Ing. Martin Kohlík, Ph.D.
Studijní program:	Informatika
Studijní obor:	Počítačové systémy a sítě
Katedra:	Katedra počítačových systémů
Platnost zadání:	Do konce letního semestru 2019/20

Pokyny pro vypracování

Vytvořte systém umožňující hraní Demolition módu ze hry Counter-Strike v outdoorové verzi (airsoft, paintball).
Systém slouží k podpoře hry, kdy se jeden tým snaží zahájit odpočet vedoucí k ukončení kola, zatímco úkol druhého týmu je zabránit inicializaci odpočtu, případně již běžící odpočet přerušit.
Systém se bude skládat ze 2 typů zařízení:
- Příruční část sloužící k inicializaci odpočtu i k jeho zrušení. Během odpočtu tato část oznamuje svou pozici zrychlujícím se pípáním/blikáním.
- 2 signalizační základny oznamující inicializaci, zrušení a ukončení odpočtu výrazným akustickým signálem.

1) Analyzujte možnosti komunikace ve ztížených podmínkách (lesní porost) pro komunikaci základna-základna (desítky metrů) a základna-příruční část (jednotky metrů s omezenou spotřebou energie).
2) Vyberte vhodnou platformu s ohledem na požadavky z bodu 1, zkonzultujte její vhodnost s vedoucím práce a implementujte jednotlivá zařízení systému.
3) Zařízení otestujte a vyhodnoťte jeho využitelnost.

Seznam odborné literatury

Dodá vedoucí práce.

prof. Ing. Pavel Tvrdík, CSc.
vedoucí katedry

doc. RNDr. Ing. Marcel Jiřina, Ph.D.
děkan

V Praze dne 11. prosince 2018

FAKULTA
INFORMAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ČVUT V PRAZE

Diplomová práce

Zařízení sloužící k podpoře outdoorových aktivit

Bc. Tomáš Čermák

Katedra číslicového návrhu
Vedoucí práce: Ing. Martin Kohlík, Ph.D.

9. května 2019

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Martinu Kohlíkovi, Ph.D. za otevřenost a pomoc při zpracování této práce. Dále Ing. Alexandru Mouchovi, Ph.D. za rady ohledně dosahu bezdrátových sítí.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů. V souladu s ust. § 46 odst. 6 tohoto zákona tímto uděluji nevýhradní oprávnění (licenci) k užití této mojí práce, a to včetně všech počítačových programů, jež jsou její součástí či přílohou, a veškeré jejich dokumentace (dále souhrnně jen „Dílo"), a to všem osobám, které si přejí Dílo užít. Tyto osoby jsou oprávněny Dílo užít jakýmkoli způsobem, který nesnižuje hodnotu Díla, a za jakýmkoli účelem (včetně užití k výdělečným účelům). Toto oprávnění je časově, teritoriálně i množstevně neomezené. Každá osoba, která využije výše uvedenou licenci, se však zavazuje udělit ke každému dílu, které vznikne (byť jen zčásti) na základě Díla, úpravou Díla, spojením Díla s jiným dílem, zařazením Díla do díla souborného či zpracováním Díla (včetně překladu), licenci alespoň ve výše uvedeném rozsahu a zároveň zpřístupnit zdrojový kód takového díla alespoň srovnatelným způsobem a ve srovnatelném rozsahu, jako je zpřístupněn zdrojový kód Díla.

V Praze dne 9. května 2019 .....

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta informačních technologií
© 2019 Tomáš Čermák. Všechna práva vyhrazena.
Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí a nad rámec oprávnění uvedených v Prohlášení na předchozí straně, je nezbytný souhlas autora.

Odkaz na tuto práci

Čermák, Tomáš. *Zařízení sloužící k podpoře outdoorových aktivit.* Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2019.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vytvořením systému umožnující hraní módu zneškodnění bomby z počítačové hry Counter-Strike pro hráče airsoftu a paintballu. Systém se skládá ze stanoviště a příručního zařízení. Příruční zařízení imituje bombu. Stanoviště označuje oblast na které je možné nastražit příruční zařízení a zahájit odpočet. K vytvoření obou zařízení bylo použito vývojové desky obsahující mikrokontrolér ESP32. Obě zařízení obsahují bzučák pro zvukové efekty a led diodu. Příruční zařízení dále obsahuje klávesnici a displej. Zařízení jsou programována pomocí platformy Arduino. Výsledkem návrhu a realizace je reálný prototyp tohoto systému. Na přiloženém médiu lze nalézt zdrojové kódy systému a 3D modely pro tisk ochranného obalu na 3D tiskárně.

Klíčová slova airsoft, paintball, Counter-Strike, bezdrátové sítě, predikce ztráty signálu, lesní prostředí, mód zneškodnění bomby ESP32, IoT zařízení, Arduino

Abstract

This diploma thesis deals with the creation of a system that allows playing the bomb defusal mode from the computer game Counter-Strike for airsoft and paintball players. The system consists of a stations and a handheld device. The handheld device mimics a bomb. The station indicates and area where handheld device can be set up and countdown get started. A development board containing ESP32 microcontroller was used to create both devices. Both devices include a buzzer for a sound effects and an led diode. The handheld device also includes a keyboard and a display. The devices are programmed using the Arduino platform. The design and implementation result in a real prototype of this system. Source codes and 3D models of the protective covers prepared for a 3D print can be found in the attachment.

Keywords airsoft, paintball, Counter-Strike, wireless networks, propagation loss prediction, forest environment, bomb defusal mode, IoT devices, Arduino, ESP32

Obsah

Úvod **1**

1 Analýza **3**
1.1 Outdoorové hry 3
1.2 Counter-Strike 8
1.3 Bezdrátové sítě 12
1.4 IoT zařízení 27

2 Návrh **31**
2.1 Stanoviště 31
2.2 Příruční část 35
2.3 Ochranné obaly 36

3 Realizace **39**
3.1 Použitý software a hardware 39
3.2 Stanoviště 39
3.3 Příruční část 43

4 Testování **47**
4.1 Předpokládané hodnoty měření 47
4.2 Metodika 47
4.3 Prostředí 48
4.4 Naměřené hodnoty 49

Závěr **51**

Literatura **53**

A Seznam použitých zkratek **59**

B Obsah přiloženého CD **63**

Seznam obrázků

1.1 Rozdíl mezi hráčem airsoftu a hráčem paintballu 7
1.2 Counter strike a Counter-Strike: Global Offensive 9
1.3 Mapa Dust2 11
1.4 Sigfox mapa pokrytí 12
1.5 LoRaWAN mapa pokrytí 13
1.6 NB-IoT mapa pokrytí 14
1.7 2G mapa pokrytí 14
1.8 3G mapa pokrytí 15
1.9 Bluetooth podporované topologie 16
1.10 Zapouzdření standardu Zigbee 17
1.11 Topologie standardu Zigbee 18
1.12 Topologie sítí 21
1.13 Celková ztráta podle jednotlivých modelů při použití 868 MHz . . 25
1.14 Celková ztráta podle jednotlivých modelů při použití 2,45 GHz . . 26
1.15 Arduino Nano 28
1.16 WROOM32 29
1.17 Raspberry Pi Zerro W 30

2.1 ESP32 vývojová deska 32
2.2 RobotDyn buzzer 32
2.3 Příklad propojení painlessMesh 33
2.4 Příklad propojení ESP-MDF 35
2.5 Šestimístný sedmi segmentový displej Robotdyn 36
2.6 Klávesnice Arduino 4x3 36
2.7 3D model obalu stanoviště 37
2.8 3D model obalu příruční části 37

3.1 Vzhled webové stránky 40
3.2 Schéma zapojení stanoviště 42
3.3 Vnitřek stanoviště 42

3.4 Schéma zapojení příruční části 44
3.5 Vnitřek příruční části 45

4.1 Fotografie testovaného lesu – jehličnatý 48
4.2 Fotografie testovaného lesu – listnatý 48
4.3 Fotografie testované roviny 49
4.4 Satelitní mapa označující přibližné místa měření 49

4.5 Výsledný systém 52

Seznam tabulek

1.1 Data vydání hry Counter-Strike 8
1.2 Systémové požadavky hry CS: Global Offensive 9
1.3 Počet hráčů hry Counter-Strike 10
1.4 Standardy IEEE 802.11 15
1.5 Standardy Bluetooth 16
1.6 Verze technologie Bluetooth 17
1.7 Parametry jednotlivých LPWAN technologií 19
1.8 Parametry jednotlivých technologií mobilních sítí 20
1.9 Parametry jednotlivých WAN a PAN technologií 20
1.10 Běžné úrovně síly signálu wifi 22
1.11 Celková ztráta v lese při použití frekvence 868 MHz 25
1.12 Celková ztráta v lese při použití frekvence 2,45 GHz 26

Úvod

Airsoft a paintball jsou moderním druhem sportu, ve kterém po sobě hráči střílí napodobeninami reálných střelných zbraní. Hlavními rozdíly mezi těmito sporty jsou použité projektily a výrazně odlišný vzhled výbavy. Hráči si vytvořili několik způsobů hry, jako například eliminace soupeřova týmu, získání vlajky, záchranná mise, pozorovací mise, bránění objektu, obsazení objektu atd.

Counter-Strike, jakožto jedna z nejúspěšnějších počítačových střílečeк, sdílí mnoho těchto způsobů hry, avšak ta nejúspěšnější, ve které jde o položení bomby na určené místo, respektive zneškodnění položené bomby, nemá mnoho řešení, protože je technologicky nejnáročnější.

Cílem rešeršní části této práce je seznámení se s airsoftem, paintballem a Counter-Strikem. Dále obeznámení se s již existujícími bezdrátovými technologiemi a IoT zařízeními. Dalším cílem je zjistit jaký má vliv lesní porost na úbytek signálu.

Praktická část se věnuje navržením a implementací systému pro hraní demolition módu ze hry Counter-Strike, za použití IoT zařízení, propojených vybranými bezdrátovými technologiemi. Systém se skládá ze dvou částí. Příruční část sloužící k inicializaci odpočtu i k jeho ukončení. Během odpočtu toto zařízení oznamuje svou pozici zrychlujícím se pípáním a blikáním. Druhou částí jsou signalizační základny oznamující inicializaci, zrušení a ukončení odpočtu výrazným akustickým signálem.

Součástí práce je rovněž testovaní a zhodnocení výsledného systému.

Kapitola 1

Analýza

Nejprve je nutné se obeznámit s outdoorovými hrami typu airsoft a paintball, které obsahují mnoho limitů a pravidel, které by mohly pozměnit samotný návrh a realizaci této práce.

Dále je rozebrána hra Counter-Strike, včetně pravidel, kterých se bude práce co nejvíce držet. Je nutno taktéž zmínit bezdrátové sítě, pomocí kterých bude probíhat komunikace mezi základnami a samotnou příruční částí.

Nakonec bude provedena analýza hardwaru a softwaru umožňující navrhnout celkový systém.

1.1 Outdoorové hry

1.1.1 Airsoft

Tento sport simuluje válku v jejích rozmanitých formách. Hráči se formují do týmu, které mezi sebou zápasí a plní různé úkoly. Tyto týmy se taktéž mohou účastnit větších akcí, takzvaných „manévrů“.

Hráči nosí realisticky vypadající zbraně s omezeným výkonem pro střelbu plastových kuliček.

1.1.1.1 Historie

Airsoft v dnešní podobě vznikl Japonsku v druhé polovině 70. let a začátkem 80. let 20. století. Výrobci hraček a modelů narazili na velký zájem sběratelů, nadšenců do zbraní a modelářů, kteří v té době neměli přístup k opravdovým ostrým zbraním. S vývojem střeleckých vlastností se zbraně začaly používat i ke hře.

Z Japonska se airsoft nejprve rozšířil do dalších asijských zemí. Do Evropy a USA přišel airsoft až v druhé polovině 80. a v 90. letech 20. století již jako hra a simulace boje. V Evropě se nejprve dostal do Itálie a Velké Británie. V dnešní době je už rozšířen prakticky do všech států Evropy.

Expanze do České republiky se uskutečnila v první polovině 90. let 20. století. Většinu zbraní opatřila trojice firem MPM, Supra a Pospa. Tyto firmy se už airsoftu nevěnují a na trhu je nahradila druhá a dnes již třetí generace airsoftových firem. Největší a nepřetržitě působící českou firmou je společnost Jan Šulc - Bohemia Air Soft založena roku 1996 [1].

Nejvíce zbraní se stále vyrábí především v Asii. V Japonsku sice výroba pomalu upadá, nicméně se přesouvá do Tajwanu a Hong Kongu. V Číně vznikla taktéž velká výroba, ta se ale potkala s omezením od komunistické vlády, která uvalila na výrobu omezení, které zapříčinilo postavení výrobců bez příslušných licencí mimo zákon [2].

1.1.1.2 Vybavení

„Airsoftové zbraně jsou zjednodušeně řečeno méně výkonné plynové zbraně (vzduchovky a větrovky) s obvyklou ústťovou energií střely okolo 1 J. Zákon č. 119/2002 Sb., o zbraních a střelivu ve znění pozdějších předpisů je řadí do kategorie D, tedy mezi zbraně volně prodejné osobám starším 18ti let způsobilým k právním úkonům. Pro svůj realistický vzhled imitující ostré zbraně jsou obvykle užívány hráči airsoftu k simulaci boje, nebo se stávají předmětem sběratelství. Ke střelbě z těchto zbraní se užívají plastové kuličky nejčastěji v ráži BB6mm“ [2].

Zbraně dělíme na takzvané manuální, elektrické a plynovky. Manuální a elektrické předávají energii pomocí pružiny, která je stlačená manuálně, respektive elektricky. Plynovky pak používají pro výstřel stlačeného vzduchu, který je uložen v zásobníku zbraně. Pro pokročilé dále existuje mnoho dalších zbraní, například granáty a miny.

Hráči nosí uniformy, které si buď navrhují sami nebo se inspirují výbavou skutečných armád, policistů a jiných ozbrojených skupin.

1.1.1.3 Hráči

Hráči se dělí na dvě skupiny, amatérů („teplákovářů“) a profesionálů. Amatéři hrají v malých skupinkách pro zábavu a většinou se neúčastní větších akcí. Na druhé straně profesionálové převzali airsoft jako životní styl. Mají mnoho zbraní, vyšperkovanou výbavu a účastní se skoro každé akce.

Manévrů se účastní řádově stovky hráčů. Tyto akce mají vlastní propracovaný scénář, mnohdy inspirované válečnými příběhy a filmy. Hráči postupně plní úkoly, získávají zdroje, které jim dopomohou k vítězství [2].

1.1.1.4 Prostory

Kvůli dostřelu zbraní by neměly jednotlivé překážky a úkryty přesáhnout vzdálenost 20 metrů. Zbraně jsou taktéž náchylné na nízké teploty okolo +10 °C, při kterých hrozí velké riziko rozbití. Proto je herní sezóna v našich podmínkách od jara do podzimu [2].

1.1.2 Paintball

Paintball se velice podobá airsoftu. Hlavním rozdílem jsou výbava a rozsah akcí.

1.1.2.1 Vybavení

Paintballové zbraně mají dostřel okolo 50 metrů. Kuličky vystřeluje buď stlačený vzduch nebo CO_2. Paintballové kuličky jsou želatinové kuličky. Střela se skládá z pevného pouzdra v niž je netoxické vodou rozpustné barvivo různých barev. Tato kulička se po zásahu rozletí a obarví zasažené místo [3].

Hráči si oblékají přes vlastní oblečení overall, který je chrání před zamazáním se jak od terénu, tak od barev. Do výbavy taktéž patří rukavice a ikonická maska na obličej.

1.1.2.2 Prostory

Paintball se většinou hraje na soukromých paintballových hřištích, které často půjčují vlastní vybavení. Tato hřiště umožňují hru maximálně několika desítek hráčů najednou. Oproti tomu se airsoftových manévrů účastní klidně i tisíce účastníků, včetně zahraničních týmů.

1.1.3 Legislativa

S ohledem na platné zákony v České republice musí být airsoft a paintball provozován na soukromých uzavřených areálech, avšak mnoho hráčů při tréninku využívá volně přístupných prostor.

Rovněž je nelegální viditelné nošení těchto zbraní v prostorech dostupných veřejností [2][4].

Z důvodu, že vyráběné příruční zařízení replikuje výbušninu, je velmi pravděpodobné, že stejné zákony budou platit i pro něj.

1.1.4 Pravidla

Pravidla jsou ustanovena pro každou akci zvlášť, proto jsou uvedena pouze obecná pravidla platící pro airsoft i paintball [5].

- Vždycky nosit ochranu očí.
- Pokud se nehraje, namířit zbraň bezpečným směrem s prstem mimo kohoutek.
- Zápasení není dovoleno. Ať už fyzické nebo verbální.
- Mířit na střed hmoty a vyhýbat se střelbě na obličej.
- Nestřílet na světla, reproduktory, značky, kamery, nebo vybavení pro ochranu proti ohni.

- Nestřílet na rekvizity, zařízení na produkci mlhy, lasery nebo jiné doplňky hry.
- Nelézt na zdi, okna, lešení nebo zábradlí.
- Nechodit na prostor aktuálně běžící hry.
- Vytáhnout zásobník ze zbraně mimo zdi prostoru.
- Respektovat rozhodčí a ostatní hráče.
- Nestřílet do ostatních hráčů v rámci 3 metrů.

1.1.5 Typy her

Airsoft a paintball obsahuje nespočet typů her, tudíž jsou uvedeny jedny z nejvíce hraných [6].

Eliminace soupeřova týmu

- Cílem hráčů je vyřadit nepřátelský tým z boje.
- Zasažení hráči odcházejí na mrtvoliště.
- Hra končí likvidací jednoho z týmů.

Získání vlajky

- Cílem hráčů je zabrat vytyčené území, které označí svou vlajkou.
- Zasažení hráči odcházejí na mrtvoliště, kde čekají určenou dobu a poté se mohou vrátit zpět do hry.
- Hra končí, když jeden z týmu zabere všechny vlajky.

Záchranná mise

- Pouze pro 4 lidi.
- Gangster se kryje rukojmím a dva policisté se snaží daný problém vyřešit.
- Úkolem gangstera je se dostat na předem domluvené místo. Zásahové jednotky musí zlikvidovat gangstera, ale nesmí zastřelit rukojmí.

Pozorovací mise

- Pouze pro 8-12 lidí.
- Lidé se rozdělí do dvou týmů, kde jeden je větší.
- Větší z týmů tvoří hlídku, která se přesouvá z bodu A do bodu B. Menší tým zná trasu a vybere si místo na přepad.
- Hra končí likvidací jednoho z týmů.

Bránění a obsazení objektu

- Méně početný tým obsadí objekt, který se dobře brání.
- Vetší tým na ně útočí.
- Po domluvě se vyřazený hráč se po určité době může vrátit do hry.
- Hra končí likvidací jednoho z týmů, či zabráním objektu útočníky.

1.1.6 Rozdíly mezi airsoftem a paintballem

Jak bylo již uvedeno, hlavním rozdílem je střelivo a tím i daná výbava. Hráč airsoftu a paintballu, jak lze vidět na obrázku 1.1, se dá poměrně jednoduše rozlišit očima. Hráč airsoftu vypadá spíše jako voják, hráč paintballu má specifickou zbraň s nádobkou na kuličky a ikonickou masku.

Obrázek 1.1: Postava vlevo zobrazuje hráče airsoftu a v pravo hráče paintballu [7][8].

1.2 Counter-Strike

Counter-Strike je týmově založená počítačová střílečka. Dva týmy proti sobě soupeří v několika kolech, ve kterých musí splnit úkoly založené na herních módech. Ve hře vítězí tým, který vyhraje dostatečný počet kol [9]. Jeden tým představuje teroristy a druhý zásahový tým ať už SWAT, FBI, nebo třeba SEAL team.

1.2.1 Popis hry a historie

V roce 1999 vznikl mód do hry Half-Life, který po postupným vylepšováním začal definovat závodní hraní stříleček. Hra si svojí popularitou vybudovala velkou komunitu [9]. Data vydání historicky nejvýznamnějších verzí hry jsou zmíněny v tabulce 1.1.

Vývojáři původního Counter-Strike se sloučil s firmou Valve, která vytvořila hru Half-Life. Původní Counter-Strike, tedy mód do Half-Lifu se dočkal největší popularitě ve své závěrečné verzi 1.6 (označována hráči jako „jedna šestka“). Valve se kvůli velké popularitě hry rozhodl vytvořit další pokračování ve formě Counter-Strike: Condition Zero, Counter-Strike: Source („CS:S“) a Counter-Strike: Global Offensive („CS:GO“). Každé další pokračování přineslo vylepšení ve formě enginu a vzhledu. V dnešní době CS:GO běží na enginu Source a postupně migruje na Source 2. Na obrázku 1.2 je vidno grafického rozdílu způsobeného dvanáctiletým vývojem. Counter-Strike se stal jakýmsi benchmarkem, měřícím dovednosti hráče ve střílečkách.

Tabulka 1.1: Data vydání verzí hry Counter-Strike [10][11][12][13]

Hra	Datum vydání
Counter-Strike 1.0	listopad 2000
Counter-Strike 1.5	červen 2002
Counter-Strike 1.6	leden 2003
Counter-Strike: Condition Zero	březen 2004
Counter-Strike: Source	listopad 2004
Counter-Strike: Global Offensive	srpen 2012

Je hodno taktéž zmínit jednu z největších distribučních platforem digitálního obsahu Steam, který je taktéž produktem firmy Valve. Před jehož vznikem musel každý uživatel stahovat jednotlivé patche ručně a tudíž se dost často stalo, že server odmítl připojit hráče z důvodu nekompatibilní verze hry. Dalším problémem byli podvodníci, kteří využívali programů, které jim pomáhaly například s mířením. Steam nabízí především tyto služby [14]:

- Dovoluje pohodlně nakupovat a stahovat herní obsah.
- Nabízí různé způsoby plateb.

- Nabízí ochranu proti pirátství.

- Zamezuje hráčům používat podvodné programy, protože je obsah obsluhován centrálními servery.

- Zajišťuje aktualitu obsahu automatickým stahováním patchů. Platforma taktéž nabízí rollback proceduru v případě, že by aktualizace něco rozbila.

- Platforma vytváří statistiky, jako například počet hráčů dané hry.

Obrázek 1.2: Vlevo lze vidět původní Counter-Strike. Vpravo je pak moderní verze této hry [15][16].

Všechny hry jsou stále dostupné na Steamu. Pro zajímavost jsou v tabulce 1.2 uvedeny systémové požadavky nejnovější verze hry.

Tabulka 1.2: Systémové požadavky hry CS: Global Offensive [13]

Komponenta	Minimum
Procesor	Intel® Core™ 2 Duo E6600/AMD Phenom™ X3 8750
Paměť	2 GB
Grafická karta	DirectX® 9.0c, Pixel shader verze 3.0 a 256 MB paměť
Úložiště	15 GB

Data v tabulce 1.3 jsou převzata z webové stránky Steam Charts, která zobrazuje hrubá data z platformy Steam.

Tabulka 1.3: Počet hráčů hry Counter-Strike [17]

Hra	Max. souběžně hrajících hráčů ke dni 17.4.2019
Counter-Strike	16 106
CS: Condition Zero	645
CS: Source	5 955
CS: Global Offensive	538 591

Jak lze vidět největší popularity se dostává pokračování Global Offensive. Druhé místo zabírá původní Counter-Strike, který si drží především nostalgickou komunitu.

1.2.2 Herní módy

Hra si od svého zrodu drží stále stabilní plejádu herních módů, které se v jejichž pokračováních téměř nezměnila. Global Offensive přináší nové módy a přejmenovává Demolition mód, který je v zadání této práce na herní mód „Zneškodnění bomby“. V tomto herním módu se pořádají všechny turnaje a je taktéž hlavním herním módem pro online žebříček hráčů. Dále jsou zmíněny nejdůležitější z nich.

Na začátku kola se hráči objeví na předem daných pozicích, kde mají určitou dobu na nakoupení výbavy a plánování strategie. Peníze hráči získávají zabitím protivníka nebo splněním úkolu.

Tým vítězí, pokud splní alespoň jeden z následujících úkolů:

1.2.2.1 Zneškodnění bomby (zadání práce)

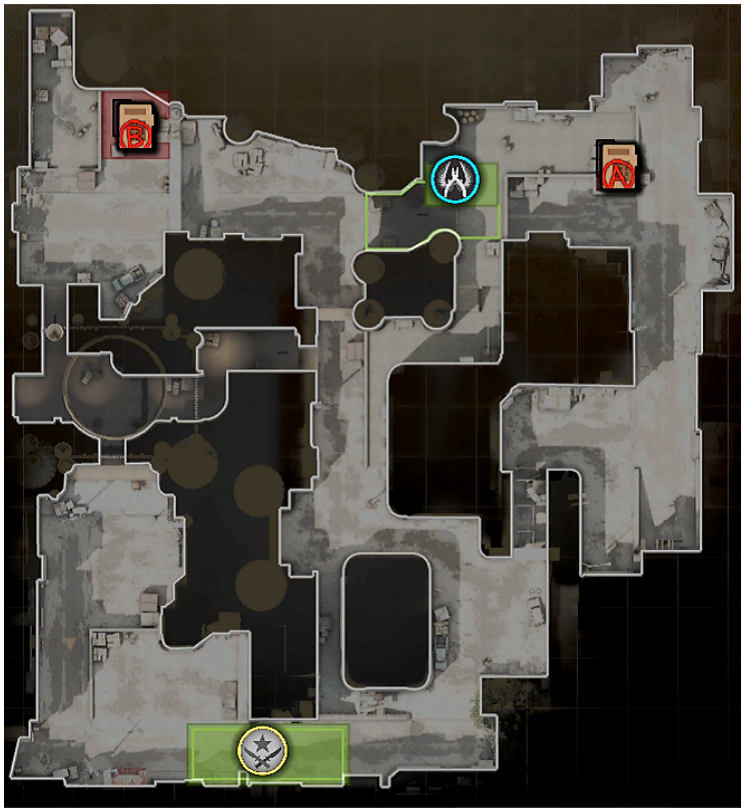
Nejznámější mapa tohoto módu se nazývá „Dust 2“, která je vyobrazena na obrázku 1.3. Mapy obsahují zpravidla dvě stanoviště na které lze nastražit výbušninu. Tato stanoviště jsou označovaná jako „A“ a „B“ [18].

Teroristé

- Nastražit výbušninu bez toho, aniž by ji zásahové jednotky zneškodnily do časového limitu. Nastražená bomba vybouchne po 40 sekundách.
- Eliminovat zásahové jednotky.

Zásahové jednotky

- Ubránit stanoviště po dobu 1 minuty a 55 vteřin tak, aby teroristický tým nenastražil bombu.
- Přerušit odpočet bomby, pokud je nastražená.
- Eliminovat teroristy před nastražením bomby.



Obrázek 1.3: Nepopulárnější mapa Dust2 [19]

1.2.2.2 Osvobození rukojmí

Na mapě jsou rozmístěni rukojmí, blíže k teroristům. Zásahové jednotky mají na své základně oblast, na kterou musí rukojmí donést. Zde se pravidla malinko změnila v CS:GO [20].

Teroristé

- Ubránit rukojmí po určitou dobu, aniž by zásahové jednotky zachránily některé rukojmí.
- Eliminovat zásahové jednotky.

Zásahové jednotky

- Zachránit některé z rukojmí.
- Eliminovat teroristy.

1.3 Bezdrátové sítě

Samozřejmě v dnešní době už bezdrátové sítě neznamenají synonymum k wifi nebo mobilní síti, možná Bluetooth, jak by si mohlo pár lidí myslet. Rozmach IoT zařízení znamenal potřebu technologií s nízkou spotřebou nebo vzdáleností přenosu na úkor rychlosti sítě. Naštěstí vývoj bezdrátových technologií nezaspal a dnes jich máme už desítky. Protože jich trh nabízí tolik, je nutné si zpřehlednit jejich nabídku. Jedná se pouze o stručný popis jednotlivých technologií. Kmitočty jednotlivých sítí jsou uvedeny pro Evropu. Na konci sekce jsou zobrazeny tabulky srovnávající jednotlivé parametry.

1.3.1 LPWAN

LPWAN neboli „low-power wide-area network“ jsou sítě na dlouhé vzdálenosti, klidně i desítky kilometrů, které jsou navrženy pro připojení zařízení IoT, tedy zařízení, které potřebují nízkou spotřebu a omezenou rychlost přenosu.

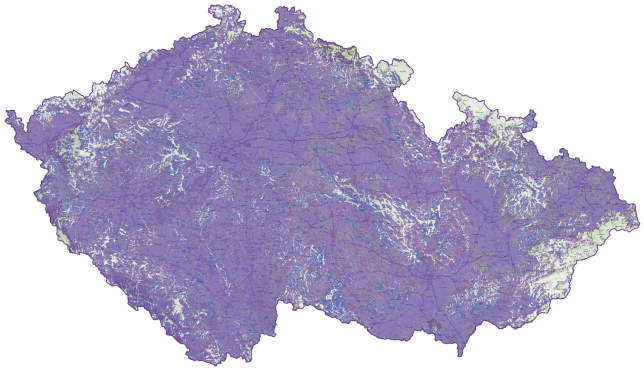
1.3.1.1 Sigfox

„Sigfox zavádí první globální síť poslouchající miliardy objektů vysílajících data bez potřeby navázání a udržování síťového připojení.“ [21] Technologie není určena pro systémy reálného času.

Sigfox je lightweight protokol, pro přenos především krátkých zpráv. Sigfox síť podporuje až 140 odeslaných zpráv denně, nosící maximálně 12 bajtů dat a 4 zprávy stažené obsahující až 8 bajtů.

Technologie operuje v pásmu 200 kHz, kde každá zpráva zabírá šířku pásma 100 Hz a je posílána rychlostí 100 až 600 bitů za sekundu [21]. Frekvence použité pro komunikaci jsou v rozmezí 868 až 868,2 MHz, které nejsou v České republice licencované. Je použita digitální modulace BPSK [22].

Pro připojení je vhodné využít operátora Sigfox sítě, kterým je v České republice společnost SimpleCell Networks.



Obrázek 1.4: Mapa pokrytí Sigfox [23]

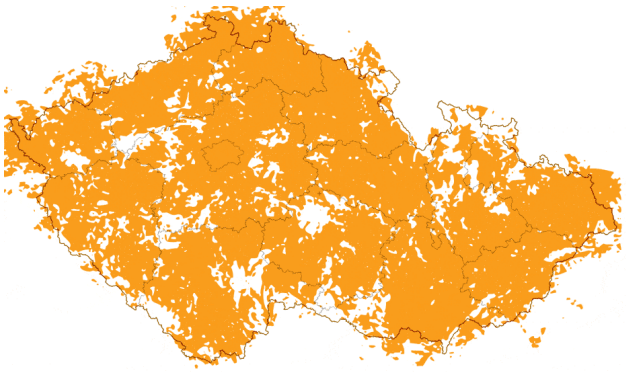
1.3.1.2 LoRaWAN

LoRaWAN je nízkopříkonovým síťovým protokolem umožnující bezpečnou obousměrnou komunikaci v IoT. Zařízení v síti posílají data jakmile jsou k dispozici. Data poslané z koncových uzlů jsou přijímány bránami, které posílají data na server, který eliminuje duplicitu paketů, zkoumá narušení a spravuje síť. LoRa dosahuje nízké spotřeby mimo jiné prostřednictvím adaptivní rychlosti přenosu dat. Frekvenčně se LoRa pohybuje v 868 MHz ve kterých má 10 kanálů. Rychlost přenosu se pohybuje mezi 250 bps a 50 kbps [24].

Fyzická vrstva LoRa využívá modulaci s rozprostřeným spektrem, respektive její variantu nad CSS. „Při použití CSS modulace je generován takzvaný chirp signál, který lineárně s časem zvyšuje svoji frekvenci od spodní hranice pásma po horní hranici pásma, anebo svoji frekvenci snižuje. Po dosažení horní hranice se frekvence vrací na spodní hranici a proces se opakuje. Na tento signál je následně přerušováním modulována přenášená informace.“ [25]

Technologie není vhodná k použití u systémů reálného času z důvodů omezení na 1 % takzvaného duty-cycle, tedy doby, kdy může zařízení vysílat v jedné periodě.

Zprostředkovatelem LoRaWAN jsou České radiokomunikace.



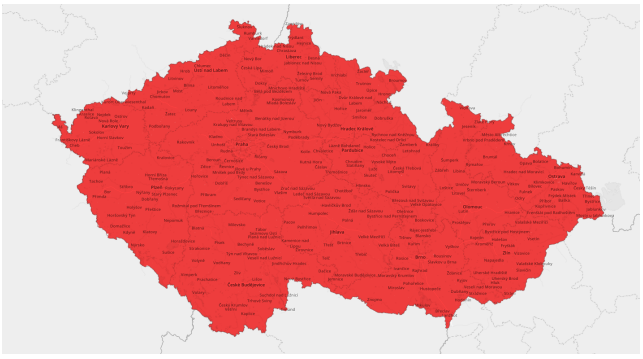
Obrázek 1.5: Mapa pokrytí LoRaWAN [26]

1.3.1.3 NB-IoT

NB-IoT se zaměřuje především na pokrytí vnitřků budov. NB-IoT používá podmnožinu LTE standardu. Je LPWAN technologií, která pracuje jedním z těchto způsobů [27]:

- Nezávisle.
- V nepoužitém 200-kHz pásmu.
- Na LTE stanicích alokujících blok zdrojů pro NB-IoT operace nebo v jejich ochranných pásmech.

Použitá pásma pro LTE v České republice jsou 800, 900, 1800, 2100 a 2600 MHz [28].



Obrázek 1.6: Mapa pokrytí NB-IoT operátorem Vodafone [26]

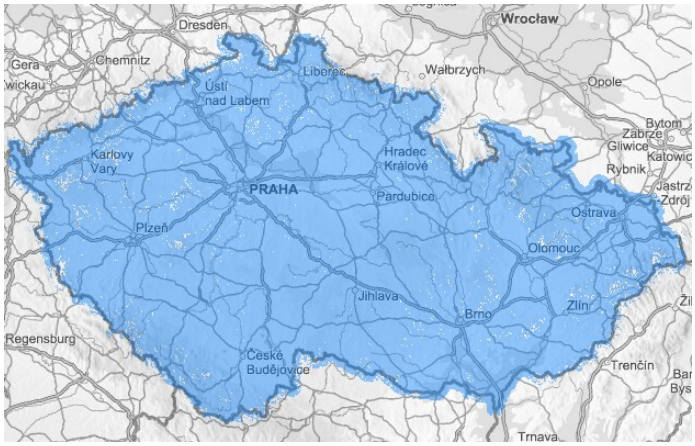
1.3.1.4 LTE-M

Výhoda LTE-M oproti NB-IoT je především ve vyšší datové propustnosti, umožnující i hlasových služeb přes tuto síť. LTE-M navíc dosahuje vyšší spolehlivosti při pohybu zařízení.

1.3.2 Mobilní sítě

1.3.2.1 2G

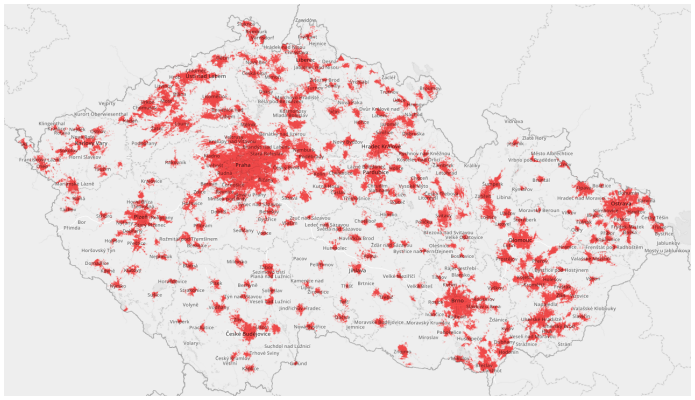
2G je první digitální sítí, která nahradila svého analogového 1G předchůdce. S 2G sítí taktéž přicházejí SMS [29]. Zabezpečení zajišťuje proudová šifra A5/1. Nástupci jsou sítě GPRS a EDGE.



Obrázek 1.7: Mapa pokrytí 2G operátorem T-Mobile [30]

1.3.2.2 3G

Mobilní sít třetí generace přináší vyšší přenosové rychlosti a možnosti opravdových internetových služeb. Zabezpečení zajišťuje KASUMI bloková šifra. Pokrytí 3G sítě v České republice poměrně slabé.



Obrázek 1.8: Mapa pokrytí 3G operátorem Vodafone [31]

1.3.3 WLAN

WLAN jsou bezdrátové sítě pokrývající domácnosti a menší firmy. Dosahují řádu stovek metrů.

1.3.3.1 WiFi

Wifi používá nelicencovaného frekvenčního pásma 2.4 a 5 GHz, proto je z finančního hlediska ideální pro budování podnikových, či domácích sítí. Zařízení se většinou připojují k přístupovým bodům, které řídí komunikaci wifi. Existuje ad hoc propojení, kde se zařízení připojují navzájem jako peer-to-peer. Přístupové body mohou sloužit jako spojení k internetu. Wifi je popsaná několika standardy IEEE 802.11, které jsou zobrazené v tabulce 1.4.

Tabulka 1.4: Standardy IEEE 802.11 [32]

Standard	Označení	Pásmo	Maximální rychlost
802.11a	Wi-Fi 1	5 GHz	54 Mbit/s
802.11b	Wi-Fi 2	2,4 GHz	11 Mbit/s
802.11g	Wi-Fi 3	2,4 GHz	54 Mbit/s
802.11n	Wi-Fi 4	2,4 nebo 5 GHz	600 Mbit/s
802.11ac	Wi-Fi 5	2,4 nebo 5 GHz	1800 Mbit/s

1.3.4 PAN

PAN sítě jsou osobními sítěmi dosahující maximálně desítek metrů.

1.3.4.1 Bluetooth

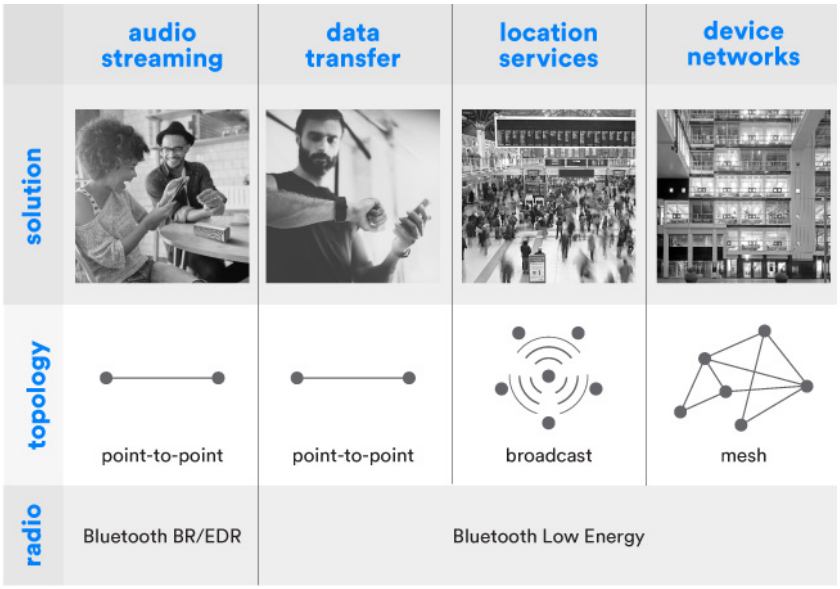
Bluetooth je technologií pro výměnu dat mezi zařízeními na krátkou vzdálenost a k budování PAN sítí. Bluetooth byl popsán specifikací IEEE 802.15.1, kterou již nenásleduje. Standardy vytváří Bluetooth Special Interest Group a chrání je ochrannými známkami. Vlastnosti standardů jsou popsány v tabulce 1.5.

Technologie se používá například v bezdrátových sluchátkách, sportovních doplňcích, hledání předmětů nebo i jako velké řídící systémy.

Standard definuje dva druhy Bluetooth, základní a LE. Oba jsou navrženy pro nízkou spotřebu. Hlavními rozdíly je způsob posílání zpráv a počet kanálů, které je možné použít ke komunikaci. Síť podporuje několik topologií, které jsou zobrazené obrázkem 1.9. Detaily o topologiích jsou v sekci 1.3.6.

Tabulka 1.5: Standardy Bluetooth [33]

	Bluetooth LE	Bluetooth
Optimalizace pro...	krátké přenosy	kontinuální přenos dat
Frekvenční pásmo	2,4 GHz	2,4 GHz
Kanály	40 kanálů	79 kanálů
Modulace	GFSK	GFSK, $\pi/4$ DQPSK, 8DPSK
Spotřeba	0.01x až 0,5 reference	1 (reference)
Topologie	P2P, Broadcast, Mesh	P2P



Obrázek 1.9: Bluetooth podporované topologie [33]

Bluetooth má již několik verzí, kde každá z nich přináší novou vlastnost. Jednotlivé verze jsou zobrazeny v tabulce 1.6. Verze jsou zpětně kompatibilní, tedy vyberou pro komunikaci největší podmnožinu společných vlastností.

Tabulka 1.6: Verze technologie Bluetooth [34]

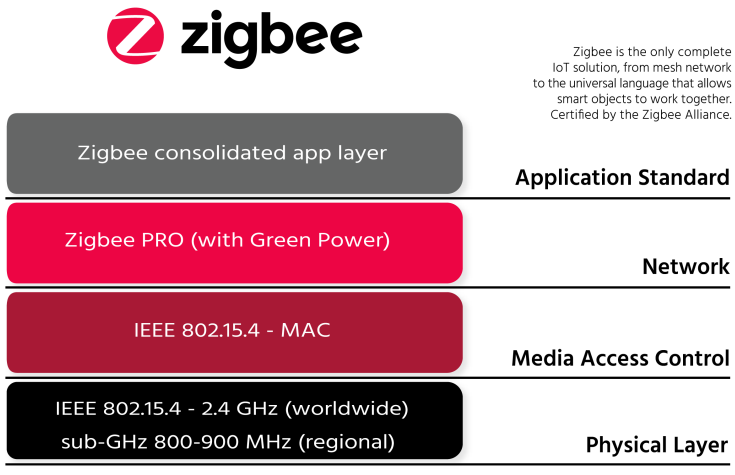
Verze	Basic Rate (BR)	Enhanced Data Rate (EDR)	High Speed (HS)	Low Energy (LE)	Slot Availability Masking (SAM)
1.x	✓	✗	✗	✗	✗
2.x	✓	✓	✗	✗	✗
3.x	✓	✓	✓	✗	✗
4.x	✓	✓	✓	✓	✗
5.x	✓	✓	✓	✓	✓

Basic Rate znamená přenosovou rychlost 1 mbps s obtížným párováním zařízení. Enhanced Data Rate přináší vylepšení na 3 Mbps. High Speed dovoluje modulům využívat přilehlé frekvence IEEE 802.11 a zvyšovat rychlost, ale i spotřebu. Proto přišla verze s vlastností Low Energy, která umožňuje lepší využití v IoT. Poslední verze se Slot Availability Masking detekuje a zabraňuje interferencím na sousedních pásmech k dosažení vyšší efektivity využívání vysílacích kanálů.

1.3.4.2 Zigbee

„Zigbee je bezdrátovým jazykem, kterým se zařízení připojují mezi sebou. Ve skutečnosti Zigbee může zrovna teď pracovat ve vašem domě.“ [35]

Technologie je postavena na standardu IEEE 802.15.4. Na obrázku 1.10 jsou zobrazeny jednotlivé vrstvy komunikace Zigbee.



Obrázek 1.10: Zapouzdření standardu Zigbee [36]

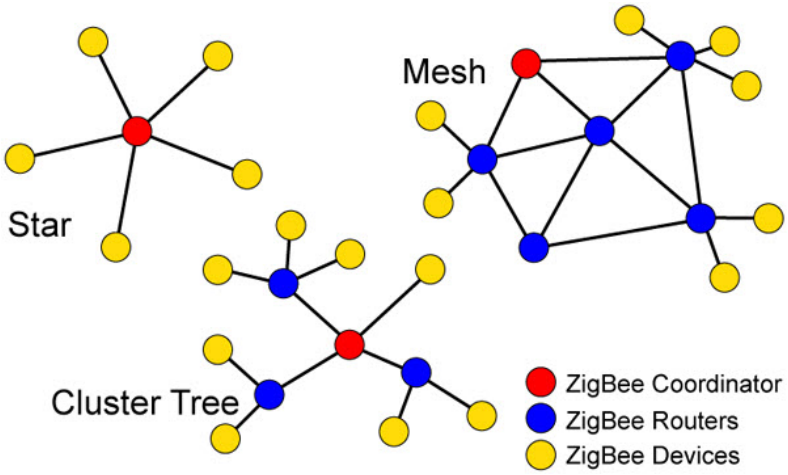
Zigbee bylo navrženo tak, aby splnilo potřeby, které Bluetooth nemohl pokrýt. Zigbee je koncipován jako technologie pro tvorbu sítí krátkého i delšího dosahu pomocí meshové topologie. Zigbee nabízí sice malou přenosovou rychlost, ale vysokou spolehlivost, snadnou implementaci a velmi nízkou spotřebu energie. Zigbee pracuje na kmitočtu 868 MHz nebo 2,4 GHz.

Technologie se používá především v těchto odvětvích [37]:

- Průmyslová automatizace
- Domácí automatizace (Smart home)
- Solární smart grid monitorizace

Jak je vidno na obrázku 1.11, Zigbee síť obsahuje tři druhy zařízení: koordinátora, směrovač a koncové zařízení. Každá síť musí mít alespoň jednoho koordinátora, který se chová jako kořen sítě, který je zodpovědný za zacházení a ukládání informací, zatímco přijímá a odesílá data.

Směrovače se chovají jako zprostředkovatelé, kteří dovolují posílat data k dalším zařízením. Počet koordinátorů a směrovačů závisí na topologii sítě [37].



Obrázek 1.11: Topologie standardu Zigbee [37]

Technologie umožňuje dva operační módy: non-beacon a beacon.V beacon módu zařízení čekají na majáček od koordinátora, který je vysílán periodicky. Majáček znamená, že je možné posílat zprávy. Po dokončení přenosu koordinátor diktuje rozpis dalších majáčků tak, aby se zařízení včetně koordinátora mohla uspat. V tomto módu ví každé zařízení, kdy má navzájem komunikovat, je ale nutné mít přesné časové obvody, které by mohly způsobit zmeškání majáčku.

Non-beacon mód se používá především v systémech, kde jsou koordinátoři neustále vzhůru, jako například detektory kouře a alarmy. Zařízení se pravidelně probouzí a potvrzují jejich neustálou přítomnost v síti.

1.3.5 Přehled parametrů

Na obrázcích 1.4 – 1.8 byly zobrazeny mapy pokrytí jednotlivých sítí v České republice.

Co se parametrů týče je nutno říci, že některá zařízení se pravidelně odpojují a upadají do spánku, aby uspořila co nejvíce energie. U dosahu sítě závisí na použitém kmitočtu, anténě, interferenci a překážkách v cestě mezi vysílačem a přijímačem. Energetická náročnost je závislá na výstupním výkonu modulu, tudíž je nutné se podívat do specifikací.

Uvedené hodnoty v tabulkách 1.7 – 1.9 vychází z hodnot při vysílání s dostupnými moduly těchto technologií:

- Sigfox – TD1207R
- LoRaWAN – RN2483
- NB-IoT/LTE-M – Quectel BG96
- 2G – u-blox SARA G350
- 3G – u-blox SARA U270
- WiFi – Cypress BCM43362
- Bluetooth LE – Bluegiga BLE113
- Zigbee – Silicon Labs ETRX357-LRS

Tabulka 1.7: Parametry jednotlivých LPWAN technologií [38][22][24][39]

Modul	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT	LTE-M
Frekvence	868 MHz	868 MHz	LTE	LTE
Rychlost	0,3 kbit/s	0,3 - 50 kbit/s	32 kbit/s	375 kbit/s
Spotřeba (3,3 V)	32 - 51 mA	40 mA	124-190 mA	124-190 mA
Dosah (město)	3 - 10 km	2 - 5 km	LTE	LTE
Dosah (venkov)	30 - 50 km	15 km	LTE	LTE
Cena bez DPH	340 Kč	290 Kč	600 Kč	600 Kč

Cena připojení přes zprostředkovatele sítě Sigfox a LoRaWAN se odvíjí od počtu poslaných zpráv. Běžná cena se pohybuje okolo 10 Kč za připojené zařízení za měsíc [40].

Tabulka 1.8: Parametry jednotlivých technologií mobilních sítí[38][41]

Modul	2G	3G
Frekvence	900 MHz	2100 MHz
Rychlost	40 - 500 kbit/s	384 kbit/s - 168 Mbit/s
Spotřeba (3,3 V)	250 mA	460 mA
Dosah (město)	5 - 8 km	5 - 8 km
Dosah (venkov)	50 - 70 km	50 - 70 km
Cena bez DPH	505 Kč	1275 Kč

Tabulka 1.9: Parametry jednotlivých WAN a PAN technologií [38][42][43]

Modul	WiFi (b/g/n)	Bluetooth	Zigbee
Frekvence	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Rychlost	11 - 72 Mbit/s	2 Mb/s	250 kb/s
Spotřeba (3,3 V)	320 mA	18,2 - 26,1 mA	50 - 140 mA
Dosah (uvnitř)	35 - 70 m		
Dosah (venku)	140 - 250 m	100 m	400 m
Cena bez DPH	450 Kč	260 Kč	480 Kč

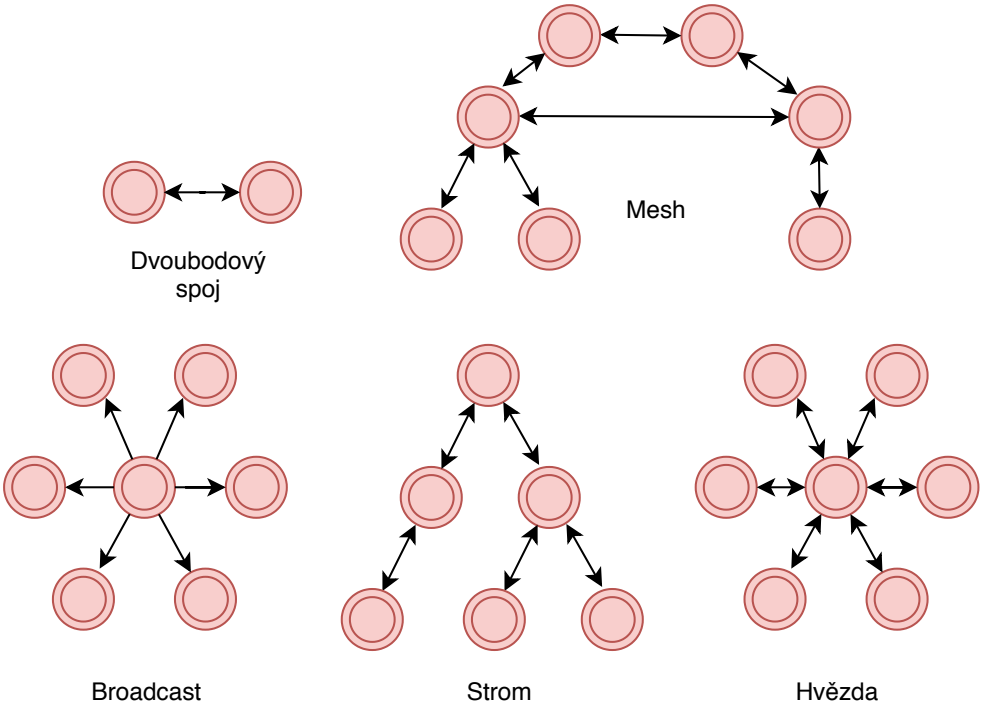
1.3.6 Topologie sítí

Jak už možná bylo zřejmé ze sekce o Zigbee, topologie sítě popisuje zapojení jednotlivých prvků ať už fyzické, nebo logické. Dá se představit jako určitý tvar nebo strukturu sítě. Fyzická topologie popisuje reálné zapojení kabelů, kdežto logická popisuje cestu přenášených dat. Každá má řadu výhod a nevýhod. Práce popisuje topologie použité ve zmíněných bezdrátových sítích, viditelné na obrázku 1.12.

- **Dvoubodový spoj:** Nejjednodušší způsob propojení dvou koncových bodů. Z pohledu uživatele je uživatel propojen pravě jen s jedním uzlem. Toto propojení je možné použít u Bluetooth.
- **Broadcast:** Jedno zařízení vysílá data a všechny ostatní je přijímají. Tento způsob komunikace je například použit u technologie Bluetooth, kdy zařízení, majáček, vysílá informaci pro příklad o produktu v obchodě. Uživatel k produktu přijde s mobilním telefonem, který už tuto informaci přijímá a zobrazuje na svém displeji.
- **Hvězda:** Všechny uzly se připojují k středovému bodu skrze dvoubodový spoj. Středový bod přeposílá zprávy cílovým uzlům. Výhodou je jednoduché přidání dalších uzlů. Nevýhodou je úzké hrdlo středového bodu a jedno místo selhání. Tuto topologii používají všechny zmíněné LPWAN sítě a wifi za použití přístupového bodu.

- **Mesh:** Mesh je topologií, ve které jsou některé uzly propojeny s více než jedním dalším uzlem v síti. Je vhodné, aby jednotlivé koncové body byly staticky na jednom místě, protože se může stát, že při pohybu se bude síť více starat o přepojení než o posílání dat. Výhodou je větší dosah sítě a odolnost vůči selhání.

- **Strom:** Prvky se strukturují do větví stromu. Jak u meshové sítě, tak i u této je výhodou vetší dosah sítě. Tuto topologii využívá Zigbee ve speciální formě cluster tree, která podstromy formuje do takzvaných clusterů, kde jednotlivé clustery jsou označeny pomocí identifikátoru.



Obrázek 1.12: Topologie sítí

1.3.7 Síla signálu

Síla signálu neboli výkon získaný přijímačem od vysílače. Hodnoty jsou velmi malé a tak se spíše využívá jednotka dBm, která vyjadřuje decibely s referencí 1 mW. Pokud je síla signálu vyjádřena pomocí dBm, tak je často vyjádřená v záporných číslech, protože je přijímán výkon menší než byl vysílán. To ale neplatí ve speciálních případech antén. Záporná hodnota bližší nule znamená

lepší signál. V tabulce 1.10 jsou uvedeny zhodnocení určitých úrovní wifi signálu.

Pro výpočet dBm přijatého signálu platí:

$$dBm = 10 \log_{10} \frac{P_1}{1mW} \tag{1.1}$$

Received signal strength indication (RSSI) v překladu „indikátor síly přijímaného signálu“ sice vyjadřuje sílu signálu, jenže v případě u IEEE 802.11 v relativním měřítku. Toto měřítko si každý výrobce určuje sám, například Cisco používá rozmezí -100 až 0. Maximální hodnotu lze nalézt pod pojmem RSSI_max.

RSSI obsahuje několik omezení [44]:

- Není dobrým indikátorem v oblastech s velkými interferencemi, z důvodu indikace sumy signál + šum + interference.
- Není plně specifikovaný: nemá určenou jednotku ani jiné požadavky.
- Protože není specifikovaný, lze očekávat mnoho implementací.
- Relativní měřítko, které se mění s každou stanicí.

Kvalita signálu se udává v procentech. Rozmezí je 0 až 100 %. Hodnotu je možné určit z RSSI. Windows předpokládá škálu RSSI -100 až 0, kde -50 bere jako 100 % a zbytek dopočítává pomocí lineární interpolace [45].

Tabulka 1.10: Běžné úrovně síly signálu wifi [46]

Síla signálu	Kvalita	
-30 dBm	Výborná	Maximální dosažitelná síla signálu. Přijímač je v blízkosti vysílače.
-67 dBm	Velmi dobrá	Velmi spolehlivý a dočasný přenos data paketů.
-70 dBm	Dobrá	Minimální signál pro spolehlivou dodávku paketů.
-80 dBm	Špatná	Minimální signál pro základní připojení. Pakety se mohou ztrácet.
-90 dBm	Nepoužitelná	Moc velké rušení. Navázání spojení je téměř nemožné.

Received Channel Power Indicator (RCPI) vznikl z důvodu nic nevypovídající hodnoty RSSI. Je indikátorem přijímaného signálu v určité šířce pásma kanálu. Je měřena na konektoru antény s přesností alespoň na +/- 5dB.

RCPI je definováno jako 8 bitové číslo, které monotónně roste se sílou signálu. Měřené hodnoty jsou zaokrouhlovány na nejbližší 0,25 dB takto [44]:

- 0: Výkon $\leq$ -82 dBm
- 1: Výkon = -81,75 dBm
- 2: Výkon = -81,5 dBm

  $\vdots$

- 255: Výkon $\geq$ -18.25 dBm

1.3.8 Predikce ztráty signálu způsobenou propagací v prostředí lesů

Zeleň v dráze komunikace mezi vysílačem a přijímačem má velký vliv na kvalitu signálu. Důvodem je náhodný rozptyl listů, větviček, větví a kmenů stromů, které mohou působit útlumem, rozptýlením difrakcí nebo absorpcí na rádiové propagované vlny.

„V poslední době vývoj bezdrátových senzorových síti s nízkopříkonovým bezdrátovým vysílačem pro vědecký a vojenský dohled v lesním prostředí přilákaly mnoho pozornosti.“ [47]

Studie s názvem „Study of propagation loss prediction in forest environment“ [47], autorů Yu Song Meng, Yee Hui Lee a Boon Chong Ng z Nanyangské technologické univerzity zpřehledňuje již publikované studie, které se zabývají analytickými, či empirickými metodami predikce ztráty signálu v lesním porostu.

1.3.8.1 Analytická metoda

Prostřednictvím přezkumu zmíněných teoretických studií je shledáno, že analytické modely vyžadují další numerické analýzy, které by poskytly řešení k neměnným matematickým formulacím a potřebují velké výpočetní prostředky. „Nicméně tyto fyzikálně založené modely poskytují neocenitelnou znalost o propagaci rádiových vln v lesích při různých frekvencích a jsou užitečné k budoucím výzkumům.“ [47]

Na druhé straně, přímé měření poskytuje přesné charakteristiky specifické pro určité místa. Na základě souboru měření lze obvykle vytvořit empirický model pomocí regresivních technik. Výhodou empirických modelů je výsledný matematický výraz, který popisuje scénář a umožňuje rychlou aplikaci i když tyto modely selhávají při indikaci fyzických procesů zúčastněných při propagaci rádiových vln.

1.3.8.2 Empirická metoda

Taktéž existuje mnoho studií zabývající se efekty vegetace pomocí experimentů. Již zmíněná studie se zabývá některými z nich a vytváří stručný přehled [47].

Weissbergerův model je modifikovaným modelem exponenciálního rozpadu. Je aplikovatelná v situacích, kdy se mezi vysílačem a přijímačem vyskytují překážky, ideálně husté, suché a listnaté stromy.

Model je významný pro rozmezí kmitočtu 230 MHz až 95 GHz. Tento model počítá pouze s hloubkou lesního porostu do 400 metrů.

$$L_w(dB) = \begin{cases} 1,33 \times f^{0,284} d^{0,588} & 14 \text{ m} < d \leq 400 \text{ m} \\ 0,45 \times f^{0,284} d & 0 \text{ m} \leq d < 14 \text{ m} \end{cases} \tag{1.2}$$

kde L_w je ztrátou způsobenou vegetací v dB, f je frekvencí v GHz a d je vzdálenost zařízení v lese v metrech. Rozdíl mezi listnatým a opadaným lesem se uvádí okolo 3 až 5 dB.

ITU Recommendation (ITU-R) tento model byl vytvořen především pomocí měření v UHF pásmu rádiového spektra, tedy 300 až 3000 MHz. Model byl navržen pro případy, kdy je jen vysílač, nebo přijímač v lese ($d < 400$ m), tak aby většina propagace signálu probíhala skrze vegetaci.

$$L_{ITU-R}(dB) = 0.2 \times f^{0,3} d^{0,6} \tag{1.3}$$

COST235 je modelem založeným na frekvencích 9,6 GHz až 57,6 GHz pro vzdálenosti menší než 200 metrů. Model rozděluje výpočet pro opadané a neopadané lesy.

$$L_{COST}(dB) = \begin{cases} 26,6 \times f^{-0,2} d^{0,5} & \textit{opadaný} \\ 15,6 \times f^{-0,009} d^{0,26} & \textit{neopadaný} \end{cases} \tag{1.4}$$

Bylo zjištěno, že ztrátu signálu propagací vegetací lze aproximovat pomocí obecného vzorce:

$$L_{foliage}(dB) = A \times f^B d^C \tag{1.5}$$

kde A, B a C jsou empiricky optimalizovatelné parametry skrze regresivní techniky založené na naměřených datech.

FITU-R Al-Nuaimi a Stephens provedli optimalizaci těchto tří parametrů za použití naměřených dat v pásmu 11,2 a 20 GHz, do 120 metrů v opadaném a neopadaném období. Poté odvodili fitted ITU-R (FIT-R) model.

$$L_{FITU-R}(dB) = \begin{cases} 0,37 \times f^{0,18} d^{0,59} & \textit{opadaný} \\ 0,39 \times f^{0,39} d^{0,25} & \textit{neopadaný} \end{cases} \tag{1.6}$$

Pro ITU-R, COST235 a FITU-R modely, L_{ITU-R}, L_{COST} a L_{FITU-R} jsou vegetační ztrátou v dB, f je frekvencí v MHz a d zůstává vzdáleností v lese v metrech.

Modely počítají pouze ztrátu způsobenou vegetací. K aproximaci celkové ztráty je ale nutné připočítat ještě takzvaný path loss.

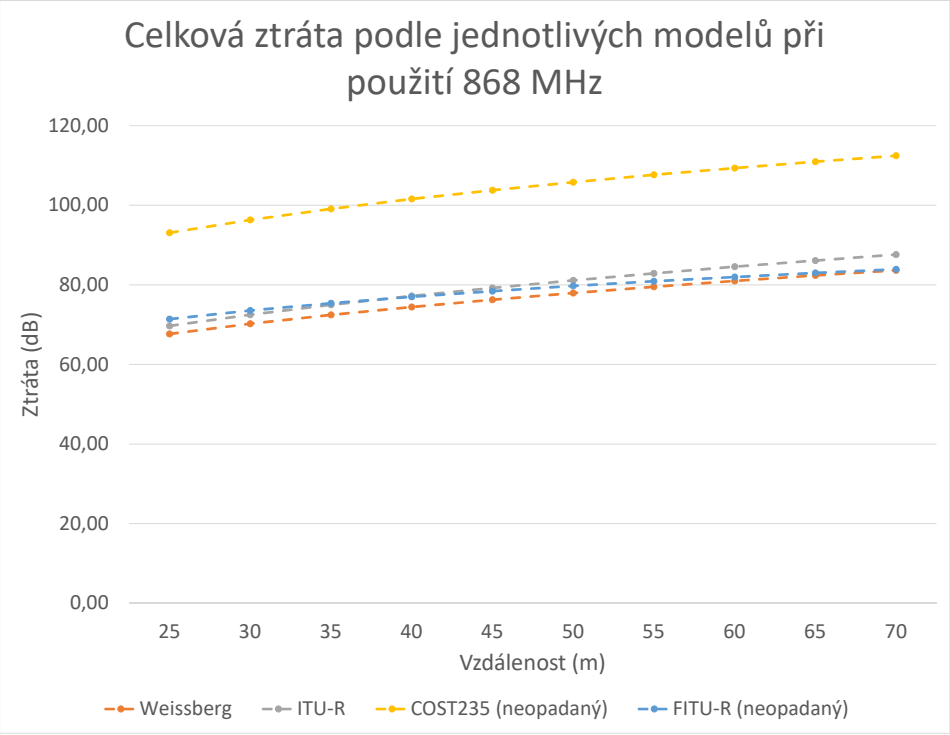
$$FSPL(dB) = 20\log_{10}\left(\frac{c}{4\pi df}\right) \tag{1.7}$$

kde $FSPL$ je ztrátou ve volném prostoru v dB, d vzdáleností mezi anténami v metrech, f frekvencí v GHz a c je rychlostí světla ve vakuu v m/s.

Dále je vypočtena celková ztráta sumou FSPL a použitým modelem. Je ale nutné dát pozor na znaménka! FSPL udává záporné hodnoty, kdežto modely hodnoty kladné! Výpočty uvedené v tabulkách 1.11 a 1.12 probíhají pouze s variantami, kdy je les neopadaný.

Tabulka 1.11: Celková ztráta (dB) v lese při použití frekvence 868 MHz

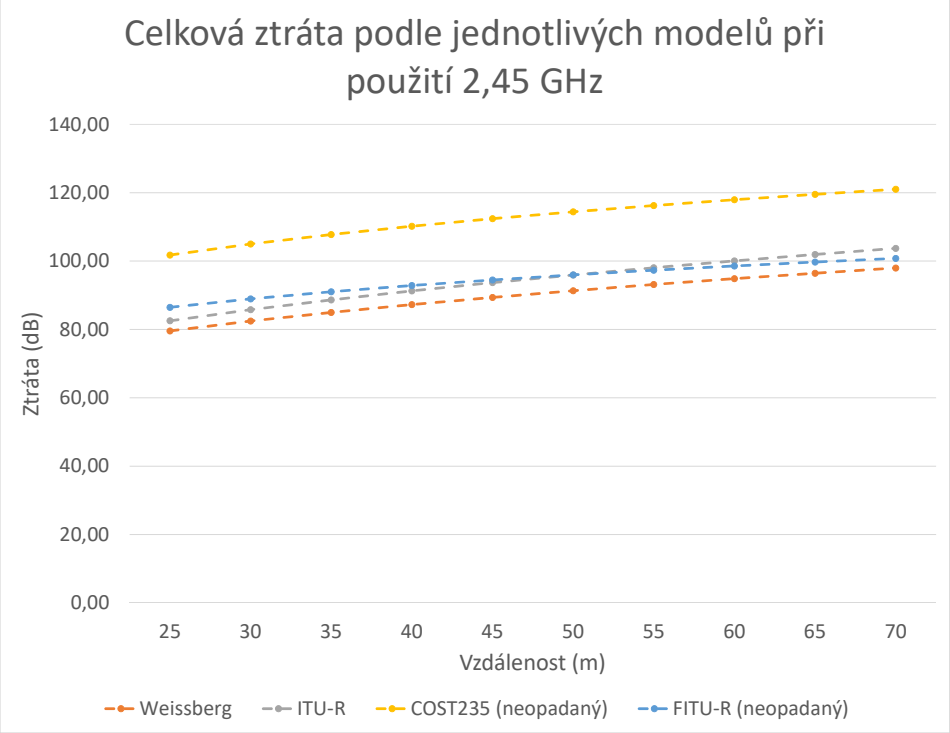
	Vzdálenost									
Model	25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	50 m	55 m	60 m	65 m	70 m
Weissberg	67,66	70,20	72,43	74,44	76,26	77,94	79,51	80,97	82,35	83,66
ITU-R	69,68	72,48	74,95	77,19	79,23	81,12	82,88	84,54	86,11	87,60
COST235	93,07	96,30	99,09	101,56	103,77	105,79	107,63	109,34	110,93	112,42
FITU-R	71,38	73,54	75,38	76,99	78,42	79,71	80,89	81,97	82,98	83,91



Obrázek 1.13: Celková ztráta podle jednotlivých modelů při použití 868 MHz

Tabulka 1.12: Celková ztráta (dB) v lese při použití frekvence 2,45 GHz

	Vzdálenost									
Model	25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	50 m	55 m	60 m	65 m	70 m
Weissberg	79,58	82,45	84,99	87,28	89,38	91,33	93,14	94,85	96,46	97,99
ITU-R	82,53	85,77	88,66	91,28	93,70	95,95	98,05	100,04	101,93	103,73
COST235	101,77	104,98	107,76	110,22	112,42	114,42	116,26	117,96	119,54	121,02
FITU-R	86,48	88,92	91,01	92,85	94,49	95,97	97,32	98,56	99,72	100,80



Obrázek 1.14: Celková ztráta podle jednotlivých modelů při použití 2,45 GHz

Na grafech 1.13 a 1.14 lze vidět, že s rostoucí vzdáleností stoupá celková ztráta na síle signálu.

Pro výpočet předpokládaného přijatého výkonu na straně přijímače lze použít následující vztah [48]:

$$P_R(dBm) = P_T(dBm) + G_T(dBi) + G_R(dBi) - Ztráta(dB) \tag{1.8}$$

kde P_R je výkonem přijatého výkonu, P_T výkonem vysílaného výkonu, G_T ziskem vysílací antény a G_R ziskem přijímací antény.

Dalšími vlivy jsou například výška umístění antén, depolarizace, terén, vlhkost a roční období [47].

1.4 IoT zařízení

Trh nabízí spoustu desek, modulů a periférií určených pro IoT. Práce rozebírá zástupce desek a modulů Arduino, ESP a Raspberry Pi.

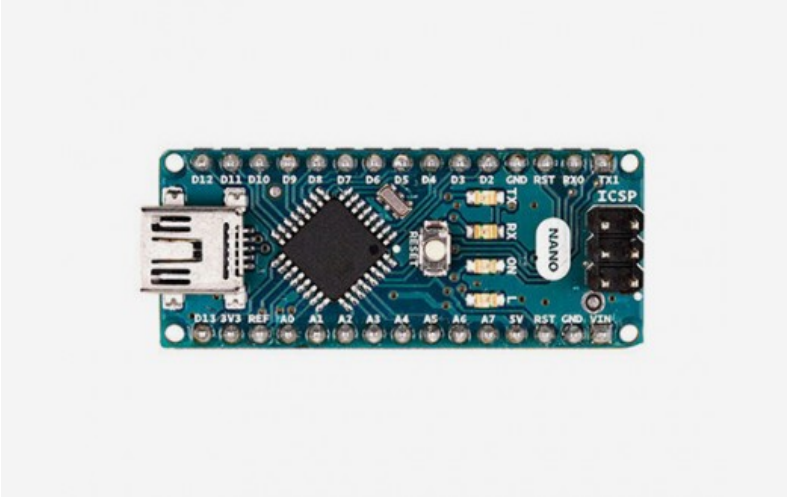
1.4.1 Arduino Nano

Arduino jsou desky určené především pro ovládání a sběr dat ze senzorů, ať už analogových nebo digitálních. Vyjímají se velikostí platformy včetně rozmanité palety periférií. Na svoje parametry je ale bohužel poměrně drahé. Varianta Nano, na obrázku 1.15, stojí přes 500 Kč, proto vzniká mnoho klonů, které stojí klidně okolo 150 Kč.

Parametry [49]:

- Mikrokontrolér: ATmega328
- Frekvence procesoru: 16 MHz
- Operační napětí: 5 V
- SRAM: 2 KB
- EEPROM paměť: 1 KB
- Flash paměť: 32 KB, z kterých 2 KB zabírá bootloader
- Analogové piny: 8
- DC proud pro každý I/O pin: 40 mA
- Digitální piny: 22, z toho 6 s PWM
- Spotřeba: 19 mA
- Rozměr: 18 × 45 mm
- Váha: 7g

Způsob programování: Přípravek obsahuje připojení USB k počítači. Programuje se v jazyce Arduino ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Jazyk Arduina je množinou C/C++ funkcí, které jsou volány z naprogramovaného kódu. Kód pak prochází kompilátorem avr-g++. Všechny konstrukty standardu C a C++ podporované avr-g++ by měly fungovat.



Obrázek 1.15: Arduino Nano [49]

1.4.2 ESP32-WROOM-32

WROOM32, na obrázku 1.16, je modulem obsahující čip ESP32, flash paměť a integrovanou anténu. Předchůdcem ESP32 bylo ESP8266, který měl hlavně menší výkon a neměl zabudovaný Bluetooth. ESP32 má dostatečný výkon pro zpracování obrazu. Cena vývojářského kitu stojí okolo 300 Kč.

Parametry [50]:

- Mikrokontrolér: ESP32 (2 jádrový procesor)
- Frekvence procesoru: 80 - 240 MHz
- Operační napětí: 3,3 V
- SRAM paměť: 520 KB
- ROM paměť: 448 KB pro boot a základní funkce
- Flash paměť: 4 MB
- Analogové piny: 18
- Digitální piny: 32, všechny s PWM
- Periférie 4 × SPI, 2 × I^2S, 2 × I^2C, 3 × UART
- WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2
- Operační systém: FreeRTOS

- Spotřeba: 80 mA
- Rozměr: 18 × 25.5 mm
- Váha: 4,5g

Způsob programování: Je vhodné koupit vývojářskou desku obsahující USB. ESP32 lze programovat na jehož frameworku ESP-IDF v jazyce C/C++. Vývoj byl rozšířen o podporu v Arduino IDE pomocí doinstalování prostředí a toolchainu.

Obrázek 1.16: WROOM32 [51]

1.4.3 Raspberry Pi Zero W

Jedná se o malý levný počítač založený na platformě ARM. Cílem firmy Raspberry Pi Foundation bylo vytvořit desku pro výuku, která by seznamovala studenty s řízením různých zařízení. Cena desky se pohybuje okolo 315 Kč. Raspberry Pi Zero W z obrázku 1.17, je nejmenším nabízeným modelem.

Parametry [52]:

- Procesor: 1 jádrový ARM1176JZF-S
- Frekvence procesoru: 1 GHz
- Paměť: 512MB RAM
- Piny: 26x GPIO, s PWM
- Periférie: USB, HDMI typ C-Mini
- Operační systém: Raspbian
- WiFi 802.11n, Bluetooth v4.1
- Spotřeba: 160 mA
- Rozměr: 65mm × 30 mm
- Váha: 9g

Způsob programování: Raspberry je možné naprogramovat v jazycích: C, C++, Python, Java a Ruby.

Obrázek 1.17: Raspberry Pi Zerro W [52]

Kapitola 2

Návrh

Zadáním práce bylo navrhnout a vytvořit systém pro podporu outdoorových aktivit založeného na módu zneškodnění bomby ze hry Counter-Strike. Systém se skládá ze stanovišť a příruční části, která imituje bombu z této hry.

V první části se práce zabývá návrhem stanoviště a v druhé pak návrhem příruční části.

Nakonec jako přídavek nad rámec zadání je návrh ochranného obalu pro tyto dva typy zařízení.

2.1 Stanoviště

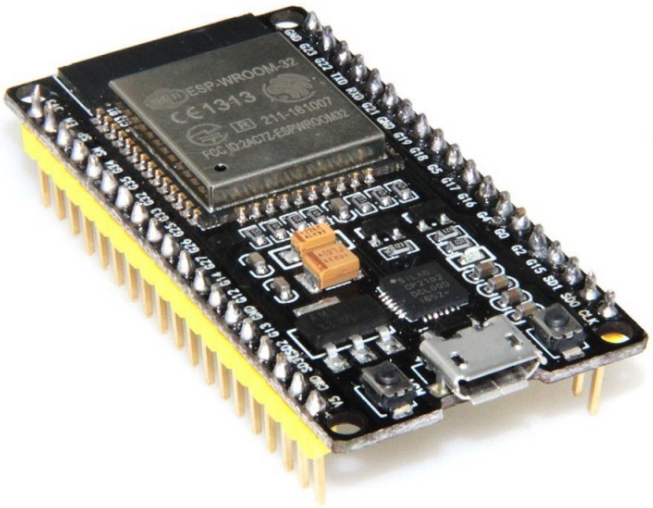
Stanoviště mají za úkol oznamovat stav bomby do širokého okolí. Nejprve převezme zprávu od příruční části, poté jí rozešle dalším připojeným stanovištím a nakonec všechny stanoviště vydávají zvukový signál.

2.1.1 Komunikace

Hlavním požadavkem pro bezdrátovou technologii použitou mezi stanovišti byl dosah alespoň několika desítek metrů. Pro komunikaci mezi stanovištěm a příruční částí stačí jednotky metrů. K dosažení většího dosahu je navrženo využití meshové topologie, která umožňuje větší pokrytí. Dosah by bylo možné navíc navýšit pomocí prvků, které by přenášely zprávy dále. Meshová topologie byla popsána v sekci 1.3.6.

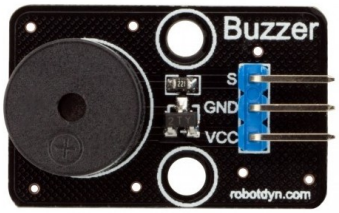
2.1.2 Výběr hardware

S ohledem na analyzované desky a bezdrátové technologie bylo usouzeno použití vývojové desky s modulem WROOM-32, zobrazené na obrázku 2.1. Důvodem byla integrace technologií wifi a bluetooth, které by dle tabulky 1.12 a dat z manuálu mohly plnit dříve zmíněné požadavky. Dalšími plusy jsou nízká cena a předešlá zkušenost s programováním ESP8266.



Obrázek 2.1: ESP32 vývojová deska [53]

Pro zvukové efekty byl vybrán pasivní bzučák RobotDyn (obr. 2.2), který umožňuje jednoduché přišroubování. Ovládá se pomocí PWM.



Obrázek 2.2: RobotDyn buzzer [54]

2.1.3 Programování

Jak již bylo zmíněno, ESP32 se programuje v jazyce C/C++ buď na platformě Arduino, nebo pomocí frameworku ESP-IDF. Arduino obsahuje širokou paletu knihoven, kdežto ESP-IDF je navrženo na využití obou jader procesoru.

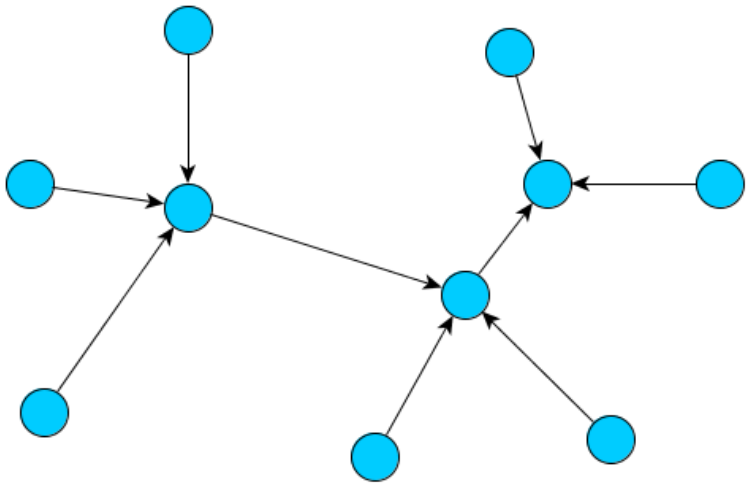
2.1.3.1 Arduino IDE

Do vývojového prostředí je potřeba instalace vývojové desky, která mapuje předepsané Arduinovské funkce na funkce ESP-IDF. Základem Arduinovského projektu jsou funkce **setup()**, která slouží k inicializaci knihoven, případně nastavení pinů a funkce **loop()**, která běží ve nekonečné smyčce. V ukázce 2.1 lze vidět příklad rozblikání diody naprogramovaném v jazyce Arduino.

Listing 2.1: Arduino – blikání diody

```
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
  // wait for a second
  delay(1000);
  // turn the LED off by making the voltage LOW
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW)
  // wait for a second;
  delay(1000);
}
```

Pro ESP32 a ESP8266 je napsána knihovna **painlessMesh**. Tato knihovna umožňuje vytvoření meshové sítě (obr. 2.3) za pomocí wifi. Je implementována jako 3. vrstva ISO/OSI modelu, tedy pro adresování se nepoužívá IP adres, ale takzvaného nodeId na základě chipId čipu. Mesh síť se vytváří automaticky a zamezuje vytvoření smyček. Všechny uzly synchronizují společný čas. Je možné posílat unicast nebo broadcast zprávy.



Obrázek 2.3: Příklad propojení painlessMesh [55]

2.1.3.2 ESP-IDF

Tento framework obsahuje obdobné funkce jako Arduino, které jsou ale lépe optimalizované přímo pro desky ESP. Vstupním bodem ESP-IDF je funkce **app_main()**.

Listing 2.2: ESP-IDF – blikání diody

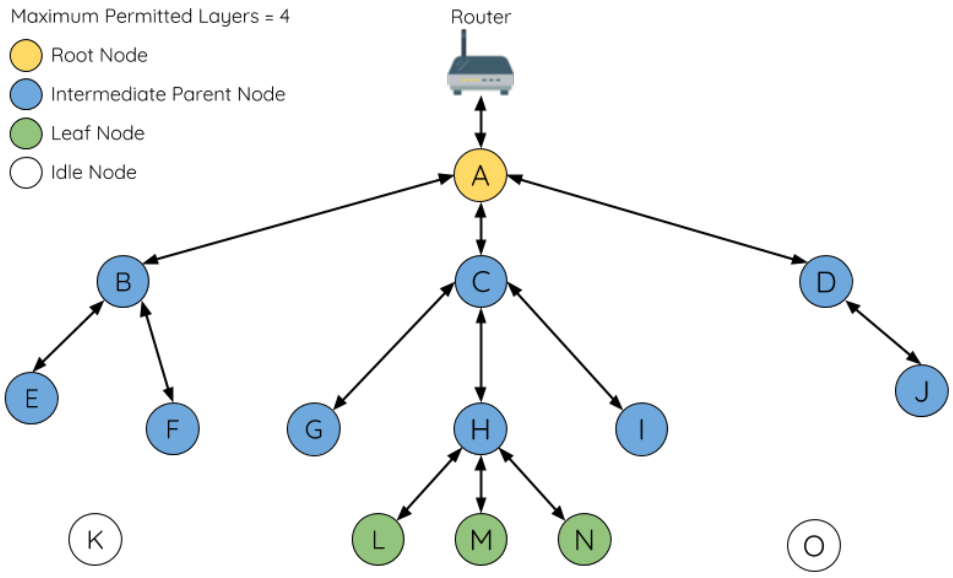
```
#include <stdio.h>
#include "freertos/FreeRTOS.h"
#include "freertos/task.h"
#include "driver/gpio.h"
#include "sdkconfig.h"

#define BLINK_GPIO CONFIG_BLINK_GPIO

void app_main()
{
    gpio_pad_select_gpio(BLINK_GPIO);
    /* Set the GPIO as a push/pull output */
    gpio_set_direction(BLINK_GPIO, GPIO_MODE_OUTPUT);
    while(1) {
        /* Blink off (output low) */
        printf("Turning␣off␣the␣LED\n");
        gpio_set_level(BLINK_GPIO, 0);
        vTaskDelay(1000 / portTICK_PERIOD_MS);
        /* Blink on (output high) */
        printf("Turning␣on␣the␣LED\n");
        gpio_set_level(BLINK_GPIO, 1);
        vTaskDelay(1000 / portTICK_PERIOD_MS);
    }
}
```

V příkladě 2.2 lze postřehnout fakt, že ESP-IDF umožňuje volat API operačního systému FreeRTOS, které umožňují práci s vlákny.

Protože se rozmohlo používání mesh sítí v IoT, firma Espressif Systems začala vyvíjet framework ESP-MDF, který obaluje ESP-IDF. Na pozadí spojuje mesh síť dle předem určeného nastavení. Prozatím je možné síť vytvořit dvěma způsoby.

Prvním způsobem (obr. 2.4) je nastavit síti router, pomocí kterého se uzly spojí a poté si zvolí root sítě. V tento moment již není router potřeba a další uzly se připojují přímo k vytvořené síti.

Druhým způsobem je nastavení jednoho zařízení jako root a ostatní jako non-root. V případě, že se setkají dvě zařízení nastavené jako root nevzniká žádné propojení.



Obrázek 2.4: Příklad propojení ESP-MDF [56]

2.2 Příruční část

Příruční část oznamuje změnu stavu stanovišti v blízkém okolí. Pokud se žádné stanoviště v okolí nevyskytuje, neumožňuje změnu stavu. K zahájení odpočtu slouží klávesnice a displej. Toto zařízení vydává zvukové efekty dle zbývajícího času odpočtu.

Bylo použito stejné vývojové desky a bzučáku (popsaných v sekci 2.1.2), jako u stanoviště z důvodů udržení stejné složitosti programování systému a podpory stejných technologií.

2.2.1 Displej

Displejem příruční části bude červený RobotDyn šestimístný sedmi segmentový displej (obr. 2.5). Dobře svítí, takže je vhodný i do tmy. Ovládá se pomocí dvojice posuvných registrů 74HC595, kde první označuje jednotlivé segmenty a druhý pozici číslice na displeji. Displej tedy rozsvěcí pouze jednu číslici v daný moment. Displej je napájen 5 V.

Obrázek 2.5: Šestimístný sedmi segmentový displej Robotdyn [57]

2.2.2 Klávesnice

Jako klávesnice byla vybrána Arduino 4x3 maticová tlačítková klávesnice (obr. 2.6). Klávesnice vydává při stisku odpor, tudíž je vhodná pro ovládání v rukavicích. Obsahuje 4 piny pro 4 řádky a 3 piny pro 3 sloupce.

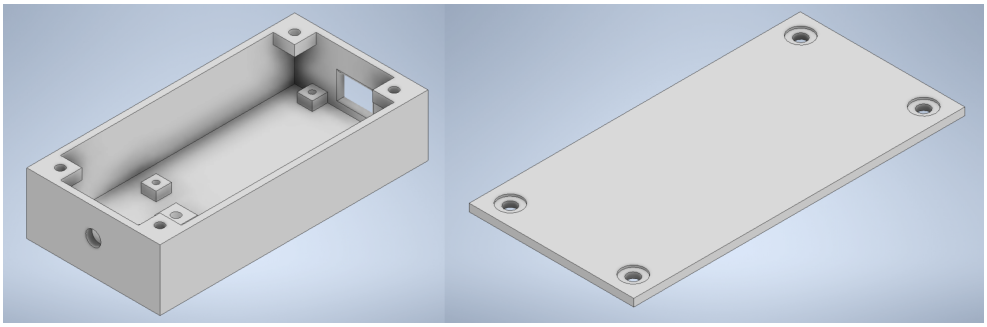
Obrázek 2.6: Klávesnice Arduino 4x3 [58]

2.3 Ochranné obaly

Pro jednotlivá zařízení jsou navrženy 3D modely přizpůsobené pro 3D tisk, které jsou uloženy v přiloženém CD.

2.3.1 Stanoviště

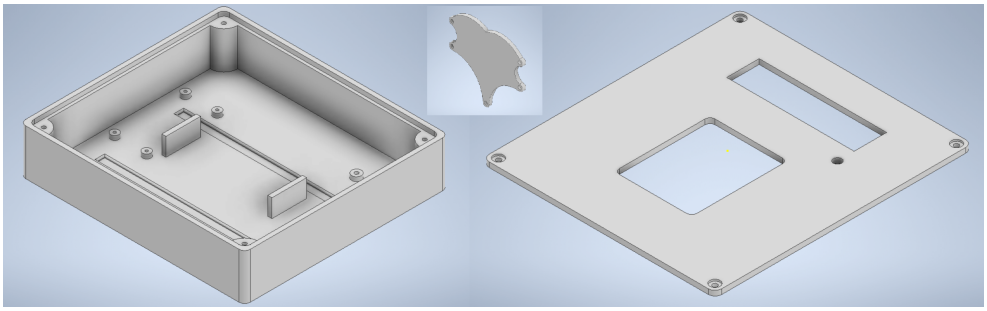
Krabička (obr. 2.7) pro stanoviště má přichystané výstupky pro přišroubování desky a bzučáku. Vepředu se nachází kulatý otvor pro vložení led diody. Vzadu je pak otvor pro připojení napájení micro-USB. Rozměry krabičky jsou: 43,5 x 87,5 x 20 mm.



Obrázek 2.7: 3D model obalu stanoviště

2.3.2 Příruční část

Návrh (obr. 2.8) je připraven pro přišroubování desky, bzučáku a displeje. Klávesnice je připevněna pomocí „pavoučka“, přišroubovaného ze spodka. Důvodem jeho použití je menší prohnutí plastových částí při stisku klávesy. Z vrchu je otvor pro led diodu. Uprostřed krabičky je prostor pro nejtěžší komponentu, čímž je power banka rozměrů maximálně 137 x 73,5 x 20 mm s připojením USB z boku. Celkový rozměr krabičky činí 147 x 162 x 33 mm.



Obrázek 2.8: 3D model obalu příruční části

Kapitola 3

Realizace

Tato kapitola se zabývá samotnou realizací návrhů. Pomocí výše zvoleného hardwaru byl zhotoven celý systém.

3.1 Použitý software a hardware

Nejprve byly stanoviště programovány na frameworku ESP-MDF, po zkoušce ale bylo zjištěno, že oba zmíněné způsoby propojení (sekce 2.1.3.2) nejsou uživatelsky vhodné, proto bylo zvoleno Arduino s knihovnou painlessMesh. Jako vývojové prostředí bylo tedy použito Arduino IDE. 3D modely krabiček byly navrženy v aplikaci Autodesk Inventor Professional 2020 a vytisknuty na osobní 3D tiskárně. Veškerá práce byla provedena na osobním notebooku s procesorem Intel i5-6300HQ, grafickou kartou Nvidia GeForce GTX1060 6 GB a 16 GB RAM.

3.2 Stanoviště

Stanoviště je přizpůsobeno pro externí připojení napájení pomocí micro-USB. Jakmile se v dosahu objeví další stanoviště, ihned začne budovat mesh síť. Změnu stavu bomby signalizuje pomocí zvukového signálu.

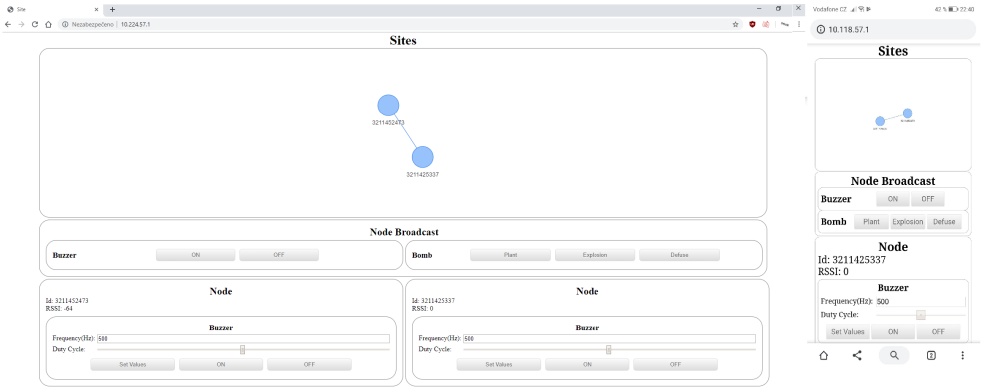
3.2.1 Komunikace

Jednotlivé stanoviště posílají pravidelně broadcastem informaci o wifi RSSI. Jelikož se stanoviště chová jako wifi access point, bylo použito webového serveru pro ovládání a diagnostiku z webového prohlížeče. Wifi je zabezpečena pomocí WPA2. Stanoviště reaguje na zprávy z meshe, webového serveru a bluetooth. Zprávy o změně stavu bomby oznamuje šesti broadcast zprávami. Z důvodu, že funkce odeslání zprávy knihovny painlessMesh není spolehlivé, jsou zprávy rozprostřené do průběhu pěti sekund po změně stavu příruční

části. Zprávy jsou tedy obohaceny o čas, kdy mají všechna stanoviště začít zvukově signalizovat.

3.2.1.1 Webový server

Pomocí webového serveru je možné ovládat bzučáky všech zařízení v mesh síti a simulovat změny stavu bomby. Data jsou mezi prohlížečem a webovým serverem posílány v JSON formátu pomocí AJAXu. Webová stránka včetně javascriptu a stylů jsou uloženy ve flash paměti.



Obrázek 3.1: Vzhled webové stránky

Na obrázku 3.1 lze vidět vzhled webové stránky. V horní části je zobrazena topologie připojených zařízení v síti. Pod ní pak možnosti ovládání všech bzučáků a možnosti rozeslání zprávy o změně stavu příruční části. Na konci je pak ovládání bzučáků jednotlivých připojených uzlů. Jak lze pozorovat, web je responzivní a tak využívá na větším monitoru celou plochu. Webová stránka je dynamická, to znamená, že po připojení další stanice je vidět změna na stránce bez nutnosti její obnovy.

Následuje seznam webových API funkcí:

- GET - /nodes
  - Server vrací informace o uzlech v mesh síti
- POST - /buzzer
  - Zapíná/Vypíná bzučák na určeném uzlu
- POST - /buzzervalues
  - Nastavuje frekvenci a duty cycle bzučáku na určeném uzlu

- POST - /buzzerall
  - Zapíná/Vypíná bzučák na všech uzlech
- POST - /bombstatus
  - Simuluje změnu stavu bomby
  - Stavy: PLANTED, DEFUSED, EXPLODED

3.2.1.2 Mesh a Bluetooth

Stanoviště umožnuje připojení nejvýše jednoho bluetooth zařízení. Reaguje na poslané data v řetězcovém formátu, ať už prostřednictvím mesh sítě nebo bluetooth.

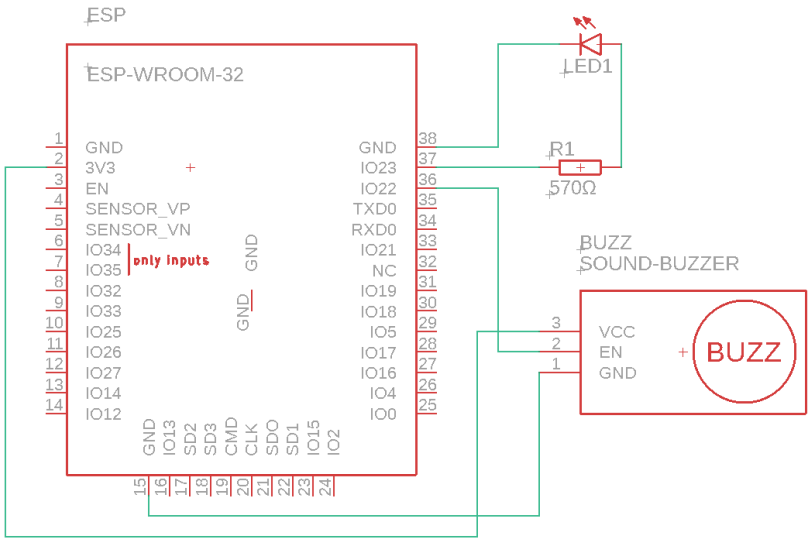
Seznam zpráv:

- BUZZER 0 | 1
  - Zapíná/Vypíná bzučák na uzlu
- BUZZERVALUES frekvence duty_cycle
  - Nastavuje frekvenci a duty cycle bzučáku na uzlu
- BOMBPLANTED
  - Reaguje na nastražení bomby ihned
- BOMBDEFUSED
  - Reaguje na zneškodnění bomby ihned
- BOMBEXPLODED
  - Reaguje na vybouchnutí bomby ihned
- BOMBSTATUS stav čas
  - Reaguje na stav bomby po dosažení času
  - Stavy: PLANTED, DEFUSED, EXPLODED
- RSSI rssi
  - Ukládá informaci o RSSI uzlu

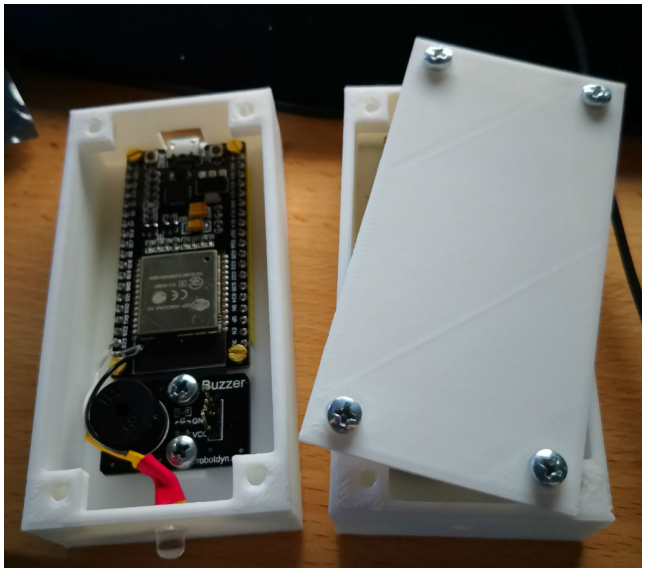
..

3.2.2 Zapojení

Stanoviště obsahuje led diodu, která indikuje rozsvícením připojení do mesh sítě. Na obrázku 3.2 je schéma zapojení a na obrázku 3.3 pak reálný vzhled zařízení.



Obrázek 3.2: Schéma zapojení stanoviště



Obrázek 3.3: Vnitřek stanoviště

3.3 Příruční část

Příruční má interní napájení prostřednictvím power banky umístěné uvnitř obalu. Pravidelně pomocí bluetooth hledá stanoviště, ke kterému by se mohla připojit. Jakmile je připojena, je připravena k použití. Příruční část navíc také obsahuje led diodu, která indikuje spuštění zařízení a navíc bliká se zvukovým signálem.

3.3.1 Popis programu

Program je rozdělen do komponent obstarávající si vlastní hardware. Ve funkci **setup()** se inicializují. Hlavní loop funkce provádí update jednotlivých komponent a stará se o mačkání kláves na klávesnici. Komponenta Logic se stará o logiku příruční části, BluetoothClient o bluetooth, Display o displej, Peripherals o bzučák a led diodu.

Jakmile je příruční část odpojena od stanoviště, BluetoothClient blokuje pokračování programu dokud se nepřipojí k dalšímu stanovišti. To znamená, že vstup z klávesy nemá jakýkoliv efekt.

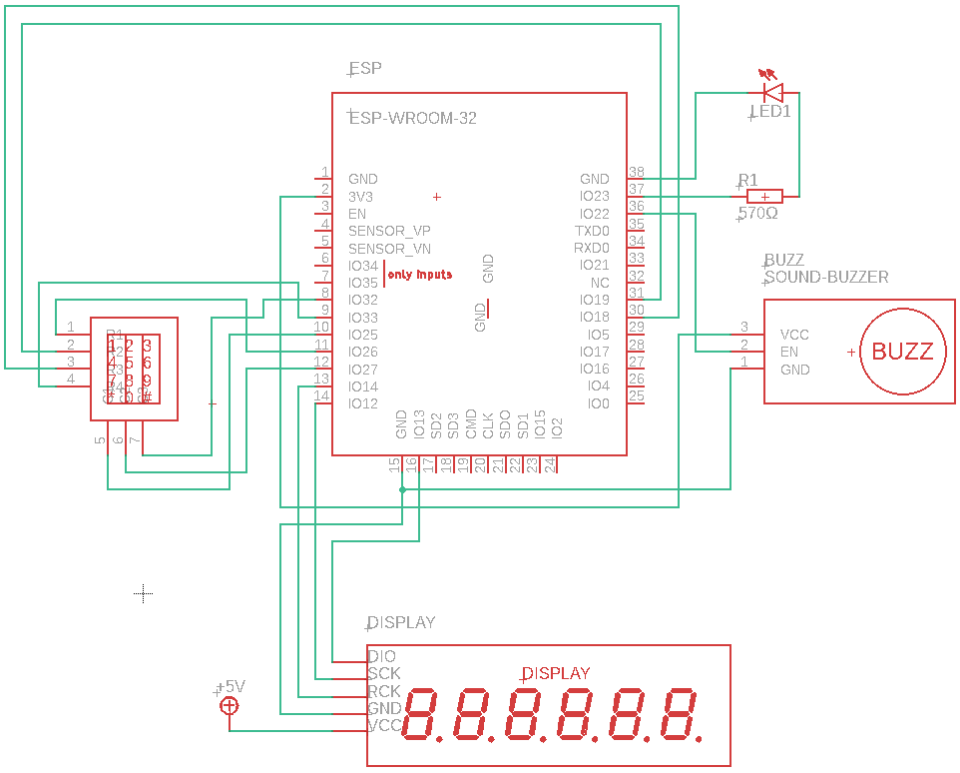
Logika je postavena na stavovém automatu. Zařízení se může vyskytovat ve stavech: WAITING, PLANTED, EXPLODED, DEFUSED. Zařízení začíná ve stavu WAITING, ve kterém je umožněno zadávání kódu. Pokud by si nastražitel rozmyslel vlastní kód, má možnost pomocí klávesy „*“ umazat poslední číslici a klávesou „#“ začít zadávat od znova. Po vložení celého kódu je spuštěn odpočet a stav se mění na PLANTED. Tato změna stavu je poslána stanovišti.

Ve stavu PLANTED je možné příruční zařízení zneškodnit. Zneškodnění probíhá vložením stejného kódu, který byl použit pro jeho spuštění. Zadaný kód lze vidět na displeji, kde při zadávání kódu jsou rozsvíceny tečky u úspěšně zadaných číslic kódu. V případě chyby musí zneškodnitel zadat celý kód znovu. V případě, že zařízení je zneškodněno, či není v určeném čase, přechází zařízení na stav DEFUSED, respektive stav EXPLODED. Tato změna stavu je taktéž poslána stanovišti. V průběhu čekání na zneškodnění jsou opětovně spuštěny bzučák a led dioda v postupně se zkracujícím intervalu.

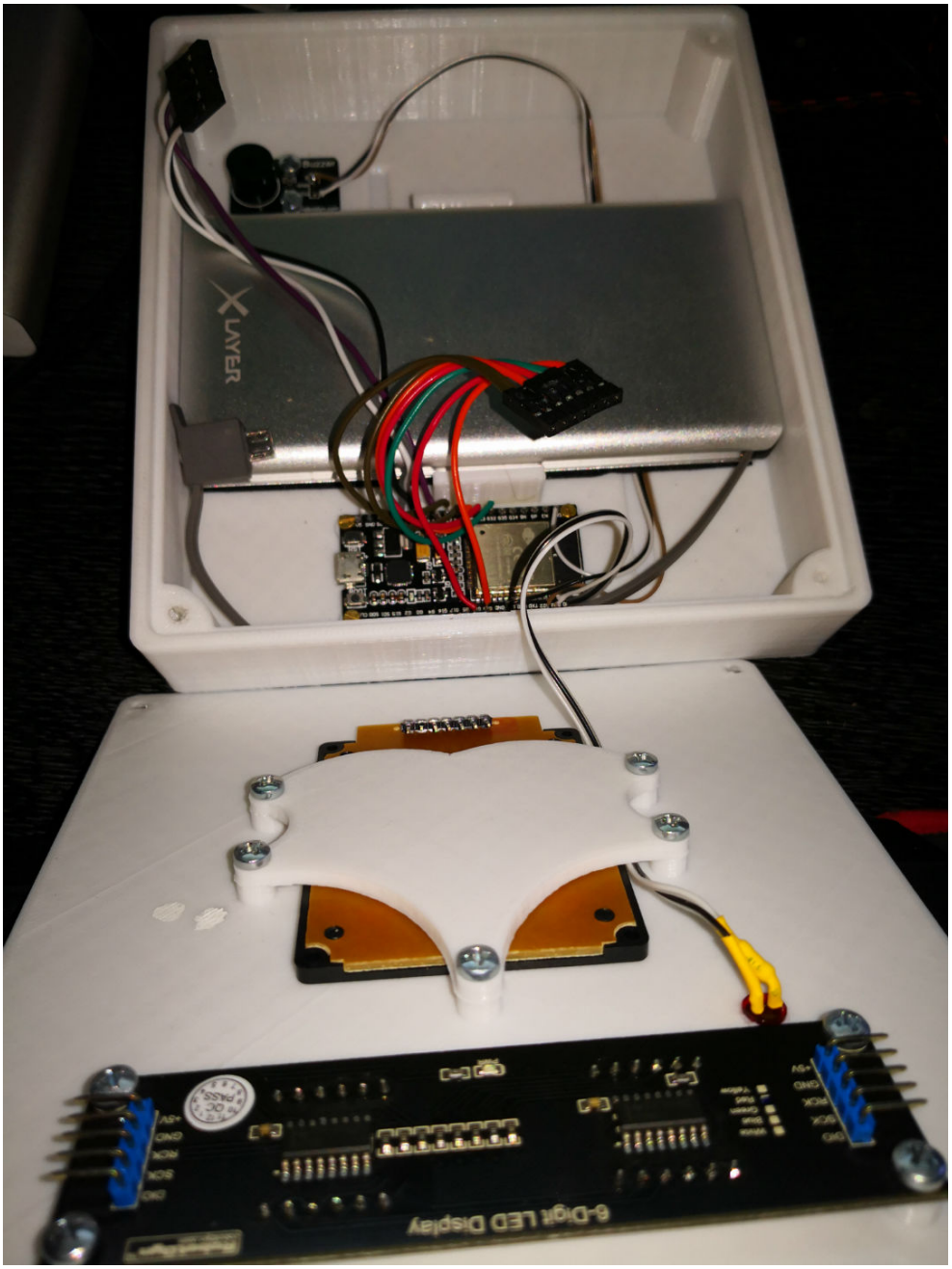
Stav EXPLODED spouští na okamžik bzučák a led diodu a vrací stav do WAITING. Naopak stav DEFUSED vypíná bzučák a led diodu a pak vrací stav do WAITING.

3.3.2 Zapojení

Na obrázku 3.4 je možné vidět schéma zapojení příruční části. Dioda a bzučák jsou zapojeny úplně stejně jako u stanoviště. Při návrhu zapojení bylo potřeba brát na zřetel, že piny 34-39 jsou input only. Na fotografii 3.5 se nachází výsledný produkt.



Obrázek 3.4: Schéma příruční části



Obrázek 3.5: Vnitřek příruční části

Kapitola 4

Testování

Testování bylo provedeno v lese kousek od Hradce Králové, u Motorestu Koliba. V blízkosti měření byla vysílací věž, která by mohla ovlivnit výsledky měření.

4.1 Předpokládané hodnoty měření

Při frekvenci 2,4 GHz a parametrů WROOM32, tedy:

- TX power: 20 dBm
- Antena gain: 2 dBi

Po dosazení do vzorce 1.8 a cílového signálu -70 dB, tedy použitelného signálu vychází tato rovnice:

$$-70 = 20 + 2 + 2 - Ztráta \tag{4.1}$$

Při použití tabulky 1.12 vypočítaných hodnot vychází odhad pro FITU-R model na rozmezí 50-55 metrů.

4.2 Metodika

Test se skládá z poslání 6 zpráv. Úspěšným projitím testu se považuje přijetí alespoň jedné zprávy. K poslání zpráv byl použit mobilní telefon připojený k webovému serveru stanoviště.

Byly spojeny dvě stanoviště na jednom místě, poté bylo jedno z nich přemístěno do lesa a postupně po 5 metrech testován. Když test neprošel, tak bylo stanoviště přesunuto o 5 metrů zpět a znovu otestováno. Když se podařilo úspěšně projít pěti po sobě jdoucími testy, vzdálenost byla považována za maximální použitelnou vzdálenost.

Zařízení byly ve visu 1,2 metrů nad zemí.

4.3 Prostředí

Testy prošly dva druhy lesů, hustý nízký jehličnatý (obr. 4.1) a vysoký listnatý (obr. 4.2). Zařízení byla testována taktéž na rovině bez stromů (obr. 4.3).

Obrázek 4.1: Fotografie testovaného lesu – jehličnatý

Obrázek 4.2: Fotografie testovaného lesu – listnatý

Obrázek 4.3: Fotografie testované roviny

4.4 Naměřené hodnoty

- Jehličnatý hustý les: 45 metrů
- Listnatý les: 55 metrů
- Rovina beze stromů: 160 metrů

Na obrázku 4.4 lze vidět přibližné místa měření a červeným oválem je označena vysílací věž.

Obrázek 4.4: Satelitní mapa označující přibližné místa měření

Závěr

Náplní práce bylo získat povědomost o sportech, jako jsou airsoft, paintball a počítačové hry Counter-Strike. Taktéž povědomost existujících bezdrátových technologií a vliv lesního porostu na ně. Dále analyzovat trh s IoT zařízeními. Navrhnout a vytvořit systém umožňující podporu těchto sportů na základě získaných vědomostí v teoretické části.

V práci úspěšně podařilo naplnit veškeré požadavky a vytvořit zmíněný systém tak, jak bylo předmětem zadání. Dále byl systém otestován v lese. Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že předvídané hodnoty podle modelu FITU-R se velmi blíží k reálným výsledkům. Testem byla ověřena celková funkčnost systému. Při testování byly zjištěny drobné problémy.

Prvním problémem se dá považovat fakt, že se nepodařilo vystrčit některé funkce stanoviště ven z jednoho jádra, kvůli architektuře platformy Arduina. To má za příčinu občasné vytuhnutí systému po dobu 1 sekundy při vyhledávání wifi zařízení způsobeného knihovnou painlessMesh. Původně bylo zamýšleno využít frameworku ESP-MDF, který počítá s použitím více vláken. Bohužel bylo zjištěno, že tento framework je teprv v plenkách a nenabízí příliš přívětivé uživatelské použití. To by se ale podle komunitních fór mělo brzy změnit. Druhý problém pak možná souvisí s tím prvním, kdy po připojení zařízení může stanoviště vypadnout a restartovat se. Tento problém se vyskytuje především v blízkosti jiných wifi sítí. Je možné, že důvodem je opět jedno vláknový přistup Arduina, nebo špatné implementace webového serveru, či přímo knihovny PainlessMesh.

Práce neřeší případy výpadku připojení bluetooth po zahájení odpočtu ani nevhodné chování možných podvodníků neplnících pravidla hry.

V případě kdy je bluetooth odpojen ve stavu PLANTED, přestává příruční část vydávat jakýkoliv signál a je možné, že po opětovném navázání spojení bude buď interval signálu signalizovat špatný čas zbývajícího času odpočtu, nebo skočí do stavu EXPLODED hned po připojení. Navodit výpadek bluetooth je možné pomocí rušičky, vzdálení příruční části od stanoviště nebo dostatečným odstíněním antény. Dále není řešen špatný vstup zpráv, je tedy

možné, že se stanoviště restartuje při přijetí nevhodných zpráv. Bluetooth na stanovišti není taktéž zabezpečen, je tedy možné systém obejít připojením mobilního telefonu a posláním zprávy o změně stavu.

Nad rámec práce byl vytvořen ochranný obal pro jednotlivá zařízení pomocí 3D tiskárny.

V budoucnu by bylo možné přepsat pro framework ESP-MDF, přidat GPS moduly a zobrazovat na webu přesná místa zařízení systému v reálném čase. Vhodné by bylo také vyřešit bezpečnostní chyby systému.

Obrázek 4.5: Výsledný systém

Literatura

[1] Airsoftshop – O firmě. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://airsoftshop.cz/ofirme.php

[2] Airsoft.cz – O airsoftu. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: http://airsoft.cz/co-je-to-airsoft/o-airsoftu

[3] Paintball-Prague – O paintballu. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://paintball-prague.cz/o-paintballu/

[4] Ministervstvo vnitra – Paintballové zbraně. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.mvcr.cz/webpm/soubor/zbrane-paintball-pdf.aspx

[5] VIP Airsoft Gilbert – What is airsoft. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://vipairsoft.net/info/what-is-airsoft/

[6] Airsoft Team Ostrava – Typy her. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://brooklynsoft-ostrava.wgz.cz/temata/typy-her

[7] Wikipedia – Airsoft. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Airsoft

[8] Wikipedia – Paintball. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Airsoft

[9] Counter-Strike blog – About CS:GO. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://blog.counter-strike.net/index.php/about/

[10] Liquipedia – Counter-Strike patches. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://liquipedia.net/counterstrike/Counter-Strike_patches

[11] Steam – Counter-Strike: Condition Zero. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://store.steampowered.com/app/80/CounterStrike_Condition_Zero/

[12] Steam – Counter-Strike: Source. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://store.steampowered.com/app/240/CounterStrike_Source/

[13] Steam – Counter-Strike: Global Offensive. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://store.steampowered.com/app/730/CounterStrike_Global_Offensive/

[14] Case, L.: Valve Changes Online Gaming Rules. *extremetech.com [online]*, březen 2002, [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://www.extremetech.com/computing/50650-valve-changes-online-gaming-rules

[15] Wikipedia – Counter-Strike (video game). [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Counter-Strike_(video_game)

[16] Wikipedia – Counter-Strike: Global Offensive. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Counter-Strike:_Global_Offensive

[17] SteamCharts – An ongoing analysis of Steam's concurrent players. [online], [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: https://steamcharts.com/

[18] Counterstrike-fandom – Bomb Defusal. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://counterstrike.fandom.com/wiki/Bomb_Defusal

[19] Counterstrike-fandom – Dust II. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://counterstrike.fandom.com/wiki/Dust_II

[20] Counterstrike-fandom – Hostage Rescue. [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: https://counterstrike.fandom.com/wiki/Hostage_Rescue

[21] Sigfox – Sigfox Technology Overview. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview

[22] Sigidwiki – SIGFOX. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.sigidwiki.com/wiki/SIGFOX

[23] SimpleCell – CONNECTING THINGS. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://simplecell.eu/

[24] Iot-portal – LoRaWAN. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: http://www.iot-portal.cz/2016/02/29/lorawan/

[25] eMan – IOT TECHNOLOGIE: LORA A LORAWAN. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-lora-a-lorawan-3-5/

[26] Iot-portal – Mapy pokrytí. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.iot-portal.cz/mapa-pokryti/

[27] Iotforall – What is Narrowband IoT? [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.iotforall.com/what-is-narrowband-iot/

[28] Světandroida – Jak vybrat správný telefon pro české LTE? [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.svetandroida.cz/jak-vybrat-telefon-pro-ceske-lte/

[29] Lifewire – What Is 2G Cellphone Technology?? [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.lifewire.com/definition-of-2g-578646

[30] T-mobile – Mapa pokrytí 2G. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.t-mobile.cz/podpora/mapa-pokryti

[31] Vodafone – Mapa pokrytí 3G. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.vodafone.cz/mapa-pokryti/

[32] Howstuffworks – How WiFi Works. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://computer.howstuffworks.com/wireless-network1.htm

[33] Bluetooth – Radio Versions. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions

[34] RTINGS – Bluetooth Versions Comparison & Profiles. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.rtings.com/headphones/learn/bluetooth-versions-comparison-profiles

[35] Zigbee – What is Zigbee? [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.zigbee.org/what-is-zigbee/

[36] Zigbee – The Zigbee Alliance Introduces First Multi-Band IoT Mesh Network Technology for Massive IoT Deployments? [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.zigbee.org/zigbee-introduces-multi-band-iot-mesh-network/

[37] ELPROCUS – ZigBee Wireless Technology Architecture and Applications. [online], [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.elprocus.com/what-is-zigbee-technology-architecture-and-its-applications/

[38] MONTEM-blog – Internet of Things: A Comparison of Communication Technologies. [online], [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://blog.montem.io/2017/03/10/internet-of-things-a-comparison-of-communication-technologies/

[39] Quectel Wireless Solutions Co., Ltd.: *LTE modul – Quectel BG96*. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://vyvoj.hw.cz/files/quectel_bg96_lte_specification_v1.0.pdf

[40] Iot-portal – Internet věcí prakticky. [online], [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://www.iot-portal.cz/2016/12/13/internet-veci-prakticky/

[41] GSMweb – Frekvenční příděl na pásmech GSM, DCS, UMTS a LTE v České republice. [online], [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://www.gsmweb.cz/clanky/freq2.htm

[42] Bluegiga: *BLE modul – BLE113 DATA SHEET*. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://cz.mouser.com/datasheet/2/368/Bluegiga_Technologies_BLE113_Datasheet-1203352.pdf

[43] Silicon Labs: *Zigbee modul – ETRX35x-LRS ZIGBEE MODULES*. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/2244170.pdf

[44] Kwak, J.: RCPI: Improved RSSI Measurement. [online], 2003, [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/03/11-03-0224-00-000k-rcpi-measurement.ppt

[45] Microsoft – WLAN_ASSOCIATION_ATTRIBUTES structure. [online], [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://docs.microsoft.com/cs-cz/windows/desktop/api/wlanapi/ns-wlanapi-_wlan_association_attributes

[46] Metageek – Understanding RSSI. [online], [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html

[47] Y. S. Meng, Y. H. L.; Ng, B. C.: STUDY OF PROPAGATION LOSS PREDICTION IN FOREST ENVIRONMENT. [online], 2009, [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: http://www.jpier.org/PIERB/pierb17/08.09071901.pdf

[48] Ing. A. Moucha, P.: Výpočet signálu na přijímací straně. mailová korespondence, duben 2019.

[49] Arduino-Store – ARDUINO NANO. [online], [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://store.arduino.cc/arduino-nano

[50] Espressif Systems: *Modul – ESP32-WROOM-32*. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf

[51] Espressif Systems – ESP32 WROOM Series. [online], [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp-wroom-32/overview

[52] RaspberryPi – Raspberry Pi Zero W. [online], [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/

[53] LaskaArduino – IOT ESP-32S 2.4GHZ DUAL-MODE WIFI+BLUETOOTH REV.1, CP2102. [online], [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://laskarduino.cz/vyvojove-desky/230256-iot-esp-32s-24ghz-dual-mode-wifibluetooth-cp2102.html

[54] LaskaArduino – ROBOTDYN BZUČÁK, MODUL. [online], [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://laskarduino.cz/vstupni-periferie-ostatni/230012-pasivni-akusticky-bzucak.html

[55] Gitlab – PainlessMesh Technical Documentation. [online], [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://gitlab.com/painlessMesh/painlessMesh/wikis/home

[56] Espressif Systems – ESP-MESH. [online], [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/api-guides/mesh.html

[57] LaskaArduino – ROBOTDYN 6-MÍSTNÝ SEDMISEGMENTOVÝ DISPLEJ 74HC595. [online], [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://laskarduino.cz/displaje/230191-127-robotdyn-6-mistny-sedmisegmentovy-displej-056-74hc595.html#/10-barva-cervena

[58] LaskaArduino – ARDUINO 4X3 MATICOVÁ TLAČÍTKOVÁ KLÁVESNICE PLASTOVÁ. [online], [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://laskarduino.cz/ovladaci-prvky/230337-arduino-4x3-maticova-tlacitkova-klavesnice-plastova.html

Příloha **A**

Seznam použitých zkratek

1G First-generation cellular technology

2G Second-generation cellular technology

3G Third-generation cellular technology

API Application Programming Interface

ARM Advanced RISC Machine

BB Ball Bullets

BPSK Binary-Phase Shift Keying

BR Basic Rate

DC Direct Current

EDR Enhanced Data Rate

ESP-IDF Espressif - IoT Development Framework

ESP-MDF Espressif - Mesh Development Framework

FITU-R Fitted ITU-R

FreeRTOS Free Real-time Operating System

FSPL Free-Space Path Loss

GPIO General-Purpose Input/Output

HDMI High-Definition Multimedia Interface

HS High Speed

I/O Input/Output

I²C Inter-Integrated Circuit

I²S Inter-IC Sound

IDE Integrated Development Environment

LE Low Energy

SAM Slot Availability Masking

CS Counter-Strike

CS:GO Counter-Strike: Global Offensive

CS:S Counter-Strike: Source

CSS Chirp Spread Spectrum

DPH Daň z přidané hodnoty

DPSK Differential Phase-Shift Keying

DQPSK Differential Quadrature Phase-Shift Keying

EDGE Enhanced Data Rates for GSM Evolution

EEPROM Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

FBI Federal Bureau of Investigation

GFSK Gaussian Frequency-Shift Keying

GPRS General Packet Radio Service

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers

IP Internet Protocol

ISO/OSI Open Systems Interconnection model

ITU International Telecommunication Union

ITU-R International Telecommunication Union - Radiocommunication

IoT Internet of Things

LPWAN Low-power Wide-Area Network

LTE Long Term Evolution

LTE-M Long Term Evolution - Machine

LoRa Long Range

NB-IoT NarrowBand-IoT

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

URL Uniform Resource Locator

USB Universal Serial Bus

P2P Point-to-point

PAN Personal Area Network

PWM Pulse-Width Modulation

RCPI Received Channel Power Indicator

ROM Read-Only Memory

RSSI Received Signal Strength Indication

SMS Short Message Service

SPI Serial Peripheral Interface

SRAM Static Random Access Memory

SWAT Special Weapons and Tactics

WAN Wide Area Network

WLAN Wireless Local Area Network

Příloha **B**

Obsah přiloženého CD

- `readme.txt` ..... stručný popis obsahu CD
- `lib` ..... adresář obsahující knihovny pro Arduino IDE
- `models` ..... adresář obsahující 3D modely pro 3D tisk
- `plugin` ..... adresář obsahující pluginy pro Arduino IDE
- `src`
  - `handheld` ..... zdrojové kódy příručního zařízení
  - `site` ..... zdrojové kódy stanoviště a webovou stránku
  - `thesis` ..... zdrojová forma práce ve formátu LaTeX
  - `install.txt` ..... instrukce k instalaci
- `text`
  - `thesis.pdf` ..... text práce ve formátu PDF