



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

**VESTAVNÁ FOTOPAST SE ZÁZNAMEM SNÍMKŮ NA
SD KARTU**

EMBEDDED PHOTO TRAP WITH STORING PICTURES ON SD CARD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ONDŘEJ MAREK

Ing. VÁCLAV ŠIMEK

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce



21578

Student: **Marek Ondřej**
Program: Informační technologie
Název: **Vestavná fotopast se záznamem snímků na SD kartu**
Embedded Photo Trap with Storing Pictures on SD Card
Kategorie: Vestavěné systémy

Zadání:

1. Vytvořte přehled typických aplikací fotopastí, požadavků na ně kladených a prostředků pro jejich realizaci.
2. Diskutujte alternativy realizací fotopasti je-li požadavkem nízká cena realizace, nízký příkon a schopnost uložení co největšího počtu snímků na SD kartu.
3. Na základě závěrů bodu 2 zvolte platformu (např. mikrokontrolér) pro realizaci výpočetní a řídicí části fotopasti a další prvky (např. čidla pohybu, modul s CMOS kamerou, baterie), které vhodně propojte a pro které vytvořte základní firmware schopný reagovat na podněty z čidel, načíst snímek z kamery a uložit data na SD kartu.
4. Dle požadavků z bodu 2 realizujte prototyp fotopasti.
5. Vhodně demonstруйте a prokažte funkčnost prototypu z bodu 4 s cílem ověřit splnění požadavků z bodu 2.
6. Vyhodnoťte vlastnosti prototypu z hlediska splnění požadavků z bodu 2.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 až 3 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Vedoucí práce: **Šimek Václav, Ing.**
Vedoucí ústavu: Sekanina Lukáš, prof. Ing., Ph.D.
Datum zadání: 1. listopadu 2018
Datum odevzdání: 15. května 2019
Datum schválení: 31. října 2018

Abstrakt

Tato bakalářská práce rozebírá přístupy a metody pro realizaci moderních fotopastí a jejich použití. Dále popisuje návrh a implementační detaily prototypu vestavěné fotopasti, který je realizačním výstupem této práce. Zaměřuje se především na způsoby úspory spotřebované energie, kompresi ukládaných dat a inovativních funkcí v podobě rozšířeného přisvětlovacího systému a bezdrátové komunikace. Závěr práce se zabývá testováním vytvořeného prototypu a srovnáním jeho vlastností s modely fotopastí nabízených na trhu.

Abstract

This bachelor thesis analyzes approaches and methods used for creation of modern camera traps and their use cases. It also describes the design and implementation details of embedded camera trap prototype, which is an output of this thesis. It focuses mainly on ways of saving energy consumption, compressing stored data and innovative features in terms of improved lighting system and wireless communication. Finally, the conclusion of this thesis contains a discussion of the results obtained during evaluation of the prototype and compares its properties with the camera traps available on the market.

Klíčová slova

fotopast, vestavěné systémy, komprese, úspora energie, JPEG, Espressif, ESP32, Arduino IDE

Keywords

camera trap, trail camera, embedded systems, compression, energy saving, JPEG, Espressif, ESP32, Arduino IDE

Citace

MAREK, Ondřej. *Vestavná fotopast se záznamem snímků na SD kartu*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Václav Šimek

Vestavná fotopast se záznamem snímků na SD kartu

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Václava Šimka. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Ondřej Marek
15. května 2019

Poděkování

Velice rád bych vyjádřil poděkování Ing. Václavu Šimkovi za připomínky, rady a odborné vedení této práce.

Obsah

1	Úvod	3
2	Přehled fotopasti	4
2.1	Definice fotopasti	4
2.2	Komponenty	5
2.2.1	Digitální kamera	5
2.2.2	Detektor pohybu	6
2.2.3	Prisvětlovací systém	8
2.2.4	Bezdrátový modul	9
2.3	Typické použití	12
2.3.1	Ochrana majetku	12
2.3.2	Monitorování zvěře	13
2.4	Požadavky	14
2.4.1	Funkcionální požadavky	14
2.4.2	Konstrukční požadavky	16
3	Možnosti realizace	18
3.1	S ohledem na elektrický příkon	18
3.2	S ohledem na počet uložených snímků	19
3.3	S ohledem na finanční náročnost	20
3.4	Alternativy komponent	20
3.4.1	Řídící prvek	20
3.4.2	Kamerový modul	24
3.4.3	Detektor pohybu	26
4	Prototyp fotopasti	29
4.1	Očekávané vlastnosti	29
4.2	Hardware	29
4.2.1	Komponenty	30
4.2.2	Schéma zapojení	33
4.3	Software	34
4.3.1	Programové vybavení	34
4.3.2	Implementace	35
4.4	Testování a vyhodnocení	41
4.4.1	Spotřeba energie	41
4.4.2	Maximální počet snímků	42
4.4.3	Výsledná cena	43
4.4.4	Pořízené snímky	43

5 Závěr	44
Literatura	45
A Obsah DVD	49
B Schéma desky Wemos Lolin32	50
C Práce na prototypu	51
D Testovací data	53
E Testování přisvětlení	56

Kapitola 1

Úvod

Fotopast je druhem kamerového systému, který pořizuje a ukládá fotografie nebo videozáznamy při zaznamenání pohybu ve svém okolí. Hlavními prvky fotopasti jsou kamera, detektor pohybu a přisvětlovací systém pro pořizování nočních snímků. Moderní fotopasti navíc nabízejí funkce pro bezdrátovou komunikaci a vzdálené odesílání pořízených dat. Výjimkou není ani příslušenství pro získávání energie z okolí kvůli zvýšení výdrže baterií. Fotopast nachází uplatnění především v oblasti monitoringu zvěře pro dokumentární i lovecké účely a pro ochranu majetku před pachateli. V závislosti na účelu použití se liší provedení některých částí fotopasti.

Fotopasti bývají nejčastěji instalovány ve venkovním prostředí a pracují po dlouhou dobu samostatně bez zásahu majitele. Tomu odpovídají i požadavky kladené na tato zařízení, mezi které patří mimo jiné i dlouhá výdrž baterií a úspora úložného prostoru. Cílem této práce je navrhnout a realizovat prototyp fotopasti, který bude implementovat řešení těchto požadavků se snahou o co nejmenší omezení funkcionality. Také se zaměřuje na některé inovativní funkce, které běžně dostupné fotopasti nenabízejí. Toho všeho se bude snažit dosáhnout s ohledem na nízkou pořizovací cenu finálního řešení. Prototyp fotopasti je realizačním výstupem této bakalářské práce, a proto je jeho návrhu a implementaci věnována podstatná část tohoto dokumentu.

V kapitole 2 je blíže definován pojem *fotopast*, dále jsou popsány metody řešení jednotlivých součástí a technologií, kterých ke své činnosti využívají. Následuje přehled typických použití fotopastí a souhrn funkcionálních a konstrukčních požadavků, které jsou kladeny na dnešní fotopasti.

Následující kapitola 3 rozebírá alternativní přístupy návrhu fotopasti při zohlednění požadavků na co nejvyšší počet uložených snímků na paměťovou kartu, nízkou spotřebu elektrické energie a nízkou pořizovací cenu.

Očekávané vlastnosti, samotný návrh prototypu fotopasti, implementaci a řešení zajímavých částí dokumentuje kapitola 4. V první části se zabývá výběrem konkrétních použitých součástí a popisem hardwarového provedení prototypu. Druhá část je zaměřená na softwarové vybavení, vývojové prostředí a způsoby, jakými byl prototyp naprogramován. Ve třetí části je provedeno testování prototypu, vyhodnocení pořízených dat a porovnání dosažených výsledků s fotopastmi na trhu.

V poslední kapitole 5 jsou shrnuty výsledky, kterých bylo dosaženo při realizaci a testování prototypu. Také obsahuje návrhy možných rozšiřujících funkcí pro případnou budoucí implementaci.

Kapitola 2

Přehled fotopastí

2.1 Definice fotopasti

Fotopast je elektronické zařízení schopné pomocí zabudované kamery a senzoru pohybu zachytit obrazový snímek nebo videozáznam objektu, který se pohybuje v jeho dosahu. Pořízená data poté ukládá do interního úložiště nebo na paměťovou kartu a případně je odešle k další analýze uživateli pomocí modulu bezdrátové komunikace. Obvykle jsou fotopasti vybaveny přisvětlovacím systémem, který jim umožňuje zachytávat obraz i při zhoršených světelných podmínkách. Obrázek 2.1 popisuje typickou fotopast.



Obrázek 2.1: Složení moderní fotopasti Minox-DTC-550. (1) Infračervené LED přisvětlení. (2) Senzor okolního osvětlení. (3) Modrá signalizační LED. (4) Červená signalizační LED. (5) Mikrofon. (6) Digitální kamera. (7) Detektor pohybu. (8) Upínací svorky. (9) Oko pro uchycení zámku.¹

¹Převzato z: https://www.minox.com/index.php?id=dtc_550

2.2 Komponenty

Tato sekce rozebírá důležité funkční části fotopasti a také principy a technologie, se kterými pracují.

2.2.1 Digitální kamera

Kamera umožňuje vytvářet obrazové snímky okolí a předávat je k dalšímu zpracování, což z ní dělá jednu z nejdůležitějších komponent fotopasti.

Světelný paprsek nejdříve prochází **objektivem**, který je tvořen soustavou plastových, skleněných nebo krystalických optických čoček. Tím je obraz zacílen na obrazový snímač a případně upraven pomocí různých filtrů. Důležitým parametrem objektivu je *ohnisková vzdálenost*, udávající úhel záběru výsledného snímku a objektivy se podle ní dělí se na normální, širokoúhlé a přibližovací teleobjektivy. Dalším parametrem je *světelnost*, která popisuje odpor, který je světlu kladen při průchodu objektivem a má přímý vliv na množství propuštěného světla. Například $f/2.8$ značí, že poměr dopadajícího světla ku propuštěnému je 1:2.8. Porovnání snímků s různými hodnotami světelnosti objektivu ukazuje obrázek 2.2.

Závěrka se používá pro řízení expozice krátkodobým propuštěním světla. K tomu mohou využívat dva typy clon. Prvním jsou mechanické clony, které pomocí rozevírajících se lamel propouštějí dopadající světlo na obrazový snímač. Druhým typem jsou elektronické clony, které pomocí elektrického signálu aktivují a po krátkém intervalu opět deaktivují obrazový snímač. Doba expozice se pohybuje od tisícín sekundy, pro snímání rychlých dějů, po minuty, pro zachycení více světla v horších světelných podmínkách.



Obrázek 2.2: Rozdíly v nastavených hodnotách světelnosti při konstantní době expozice a citlivosti.²

Následně světelný paprsek dopadá na **obrazový snímač**, který zajišťuje převod optického signálu na elektrický a může být realizován technologií nábojově vázaných prvků (CCD) nebo unipolárních tranzistorů (CMOS). Hlavní rozdíl mezi nimi tvoří citlivost na světlo, přičemž CCD snímače bývají v tomto ohledu kvalitnější, ale zato větší a finančně nákladnější. *Rozlišení obrazu* je předním parametrem snímače a popisuje, na kolik výsledných pixelů bude namapován obraz tvořený přicházejícím světlem. Rozlišení se uvádí v počtu pixelů na vertikální a horizontální ose snímku (např. 1920x1080 značí obraz tvořený 1080 vodorovnými řádky po 1920 pixelech) nebo v počtu megapixelů snímače. Větším rozlišením lze při zobrazení na stejně velké ploše dosáhnout jemnějšího a kvalitnějšího obrazu. Tyto rozdíly demonstruje obrázek 2.3. [36]

²Převzato z: <https://www.theverge.com/2012/1/2/2663464/camera-buyers-guide>

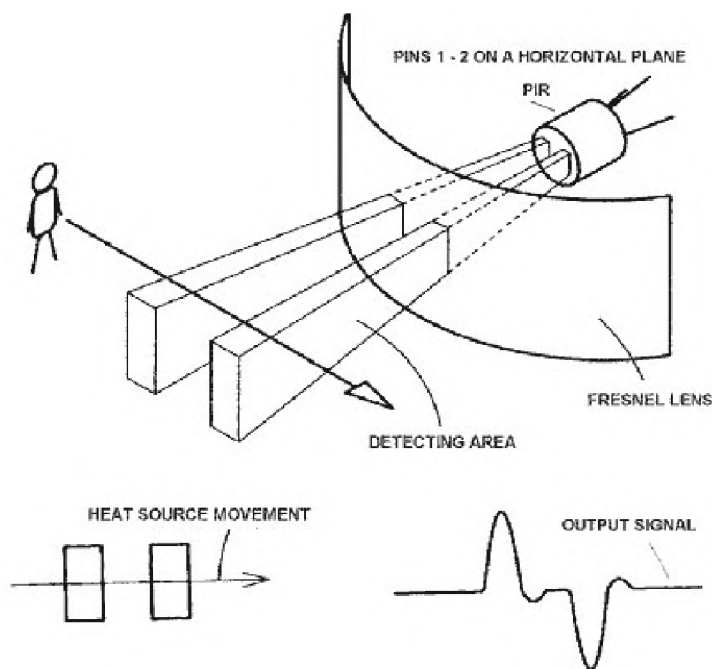


Obrázek 2.3: Fotografie z telefonu Samsung Galaxy S9+ ukazují dopad rozlišení na kvalitu detailů ve výsledném snímku.

2.2.2 Detektor pohybu

Detektor pohybu je zařízení, které reaguje na pohyb objektu v jeho zorném poli typicky elektrickou signalizací na výstupním vodiči. V současnosti se v detekci pohybu používají čtyři hlavní technologie.

Pasivní infračervené (PIR) čidlo je nejběžněji používaným druhem díky své cenové dostupnosti, rozměrům a energetické nenáročnosti. Princip, na kterém pracuje PIR detektor je znázorněn na obrázku 2.4. Infračervené záření vydávané např. člověkem, zvířím nebo motorovými dopravními prostředky je zacíleno *Fresnelovou čočkou* na vnitřní pyroelektrický prvek, ve kterém vyvolá velmi nepatrné kolísání signálu. Následně je toto kolísání zesíleno zesilovačem a vyhodnoceno. Většinou jsou zahrnuty pyroelektrické prvky alespoň dva, kvůli potlačení šumu a omezení falešného sepnutí. Často existuje možnost nastavit pomocí potenciometrů citlivost, časové zpoždění a dobu, po kterou má být výstup detektoru po sepnutí aktivní. Jelikož tento typ detektoru pro získání informací nevyzařuje aktivně žádnou energii, je jeho spotřeba v klidovém režimu minimální. Nevýhodou bývá nižší spolehlivost, slepá místa v detekční zóně kvůli její fragmentaci a kalibrační prodleva po připojení k napájení v řádu desítek sekund až nízkých jednotek minut. PIR čidla mají také určité limity, na které je nutno při jejich integraci do zařízení brát ohled. Patří mezi ně omezená schopnost detekce velmi rychlého i velmi pomalého pohybu a nemožnost rozpoznání pohybu za překážkou tvořenou materiálem, který brání průchodu infračerveného záření (např. sklo). [4]



Obrázek 2.4: Princip funkce čidla PIR325 se dvěma pyroelektrickými prvky. Kromě čidla je znázorněna také Fresnelova čočka, detekční oblast a závislost změny výstupního signálu na procházejícím objekt, který vydává infračervené záření.³

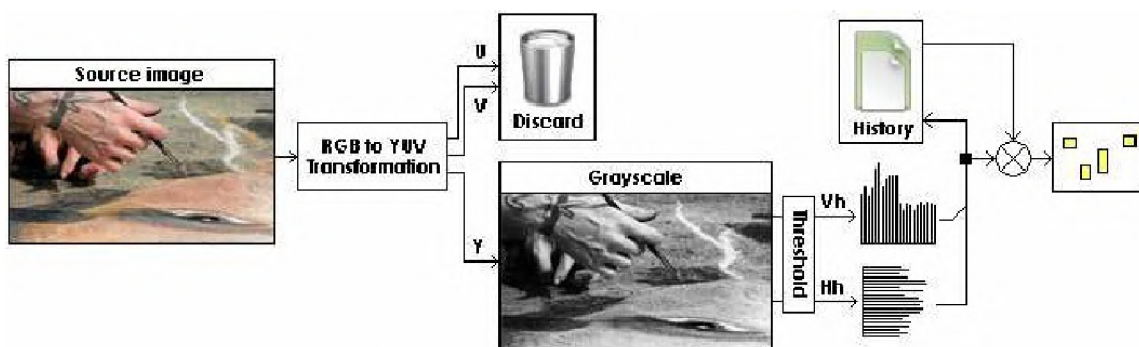
Další skupinou jsou **ultrazvukové detektory** a dělí se na pasivní, které pouze analyzují zvukový signál přicházející z okolí a aktivní, které pro získání informace o pohybujiícím se objektu generují zvukové vlny o frekvenci 30 až 50kHz. Zvuky v tomto pásmu nejsou pro člověka a většinu živočichů slyšitelné. Pokud v oblasti nastane pohyb, odražený zvukový signál změní svoji formu fázovým posunutím, což je detektorem interpretováno jako pohybující se těleso. Detekce probíhá rozбором frekvenčních i amplitudových parametrů zvukových vln a využívá se důsledků *Dopplerova jevu*, který popisuje změnu vlnové délky a frekvence zvuku vzájemně se pohybujiícího přijímače a vysílače [9]. I přes snahy o redukcii šumu jsou ultrazvukové detektory náchylné na falešné sepnutí, především v rušném venkovním prostředí nebo vícenásobně odraženou zvukovou vlnou. Z tohoto důvodu se často doplňují druhým ultrazvukovým nebo PIR čidlem pro lepší spolehlivost a odolnost vůči šumu. Narozdíl od PIR detektorů vynikají v detekci celého zorného pole bez mrtvých úhlů, zato mezi nevýhody patří značně vyšší spotřeba energie.

Mikrovlnné detektory pracují na podobném principu jako ultrazvukové s tím rozdílem, že místo zvukového signálu vysílají pulz mikrovln. Používají se především pro ochranu před vniknutím neoprávněné osoby nebo měření rychlosti vozidel policejními orgány. Pro lepší spolehlivost a odolnost vůči falešnému sepnutí bývají párovány s PIR čidly. Kvůli úspoře energie se většinou spouští automaticky pouze v určitých časových intervalech, což může v krajních případech vést k ignorování pohybu, který nastane mezi těmito intervaly. [17]

Posledním typem jsou **softwarové detektory pohybu**. Obraz z kamery je zpracován počítačovým programem a vyhodnocení pohybu probíhá softwarově. Zjednodušený příklad algoritmu pro takové zpracování je zobrazen formou blokového schématu na obrázku 2.5.

³Převzato z: <https://www.jrmagnetics.com/security/defeatpir/defeatpir.php>

Často je v algoritmech pro lepší výsledky použito strojového učení a algoritmů umělé inteligence. Většinou již projekt obsahuje kameru pro další využití, s čímž souvisí úspora, protože není zapotřebí žádných dalších součástí pro detekci pohybu. [10]



Obrázek 2.5: Algoritmus pro softwarovou detekci pohybu, který používá lineární transformaci barevného modelu RGB na YUV. Využívá pouze jasové složky obrazu Y, ze které pomocí prahů vytvoří dva prostorové histogramy V_h a H_h , jejichž porovnáním s předešlým snímkem lze získat změněné oblasti [16].⁴

2.2.3 Přisvětlovací systém

Součástí fotopasti je prisvětlovací systém, který umožňuje pořizovat záznamy i při nedostatečném vnějším osvětlení. Používá k tomu buď světelný záblesk podobný tomu u klasických fotoaparátů nebo infračerveného záření.

Díky **viditelnému zábleskovému prisvětlení** lze v noci pořizovat i barevné snímky, nicméně za cenu vyrušení pozorovaného subjektu a prozrazení polohy fotopasti. Tento typ prisvětlení se dále dělí na záblesky xenonové a LED. Dříve používaný **xenonový** záblesk funguje na principu přivedení elektrického napětí na elektrody ukončující skleněnou trubici napuštěnou xenonem na obou stranách a následné ionizaci tohoto plynu, při které dojde k velmi rychlému a intenzivnímu záblesku. Tento způsob produkuje prisvětlení o velkém dosahu, avšak není příliš energeticky efektivní. Mezi další nedostatky lze zařadit hluk vydávaný při ionizaci plynu a zhruba půlminutovou dobu zotavení před dalším použitím. Nástupcem pro viditelný záblesk se stala technologie **LED**, která je mnohem úspornější, čímž prodlužuje výdrž baterií fotopasti. Pracuje bez vydávání rušivých zvuků a lze ji použít i kontinuálně, což je velkým benefitem a umožňuje tím pořizování nočních videozáznamů.

Druhou metodou je **infračervené prisvětlení**, které není tak výkonné jako viditelný ekvivalent, ale přináší výhodu snímání bez vyrušení okolí. Používají se infračervené LED diody vyzařující světelné paprsky o vlnových délkách 850nm a 940nm, které se odrazí od pozorovaného objektu a dopadnou na obrazový snímač kamery. Rozdíl mezi zmíněnými vlnovými délkami spočívá v tom, že diody s kratší vlnovou délkou jsou blíže viditelnému spektru a vydávají nepatrné množství červeného světla. Takové světlo je pozorovatelné lidským i zvířecím zrakem (obrázek 2.6) na rozdíl od druhé varianty, která je pro většinu živočichů absolutně neviditelná, ale neposkytuje tak kvalitní iluminaci. Obecnou nevýhodou infračerveného prisvětlení je ztráta barevné informace, z čehož plyne možnost produkování pouze černobílých snímků. [35]

⁴Převzato z: https://www.academia.edu/26399638/Motion_Detection_and_Surveillance



Obrázek 2.6: Rozdíl ve viditelném spektru IR diod s různou vlnovou délkou.⁵

Na následujícím obrázku 2.7 lze pozorovat, jak se liší snímky při použití výše zmíněných přisvětlovacích metod.



Obrázek 2.7: Porovnání výsledků jednotlivých přisvětlovacích metod.⁶

2.2.4 Bezdrátový modul

Některé pokročilejší fotopasti obsahují integrovaný bezdrátový modul s anténou pro vzdálenou konfiguraci zařízení a odesílání notifikací nebo pořízených souborů uživateli. Na trhu

⁵Převzato z: http://www.fotopast-fotozved.cz/Jak_vybrat_fotopast.php

⁶Převzato z: https://www.researchgate.net/publication/320402776_Camera-trapping_for_conservation_a_guide_to_best-practices

se vyskytují varianty využívající bezdrátovou technologii WiFi nebo připojení k mobilní síti s využitím GSM služeb.

WiFi

Fotopasti s WiFi funkcionalitou vytvářejí ve svém okolí lokální bezdrátovou síť WLAN podle standardu IEEE 802.11 nebo se připojí k již existující síti. Takové sítě pracují nejčastěji ve frekvenčních pásmech 2,4 GHz nebo 5 GHz, která lze využívat pro civilní účely i bez pořízení nákladných licencí. Je však třeba dbát na požadavky a předpisy udávané zákony země, ve které se zařízení provozuje. V České republice přidělování frekvencí pro bezdrátovou komunikaci spravuje Český telekomunikační úřad [11]. Jednotlivé sítě jsou rozlišeny pomocí identifikátoru SSID o maximální délce 32 znaků, který je pravidelně ohlašován broadcastem okolním zařízením. Druhým způsobem je neohlašující síť, do které se lze připojit pouze s předchozí znalostí hodnoty SSID. Síť může být otevřená všem zařízením, které se k ní připojí nebo chráněná restriktivním seznamem povolených MAC adres (tzv. bílá listina, angl. whitelist), případně použitím hesla. K zabezpečení se používají šifrovací algoritmy, popsané standardy s označením WEP, WPA a v současné době nejpoužívanějším WPA2, který je založený na standardu pokročilého šifrování (angl. Advanced Encryption Standard, zkr. AES) [20]. Tabulka 2.1 nabízí porovnání parametrů nejpoužívanějších WiFi standardů.

Protokol	Vydání	Frekv. [GHz]	Š. pásma [MHz]	Max. rychl.	Dosah [m]	
					Uvnitř	Venku
Legacy	1997	2.4	22	2 Mb/s	~20	~100
802.11a	1999	5	20	54 Mb/s	~35	~120
802.11b	1999	2.4	22	11 Mb/s	~35	~140
802.11g	2003	2.4	20	54 Mb/s	~38	~140
802.11n	2009	2.4/5	20/40	600 Mb/s	~70	~250
802.11ac	2013	5	20/40/80/160	1 Gb/s	~35	-

Tabulka 2.1: Přehled parametrů nejpoužívanějších IEEE 802.11 standardů. [1]

Velkou výhodou fotopastí s touto funkcionalitou představuje schopnost poskytovat bezdrátovou komunikaci i na území bez signálu mobilní sítě. Mezi záporné vlastnosti lze zařadit omezený dosah WiFi sítí, znatelně vyšší spotřeba a s tím spojená kratší výdrž baterií. Tento problém se občas řeší napájením fotopasti přímo z elektroinstalace, což je však pro většinu aplikací velmi omezující.

Alternativně lze fotopasti propojit i jinými proprietárními standardy bezdrátových lokálních sítí jako např. *Cuddelink*. Fotopasti je za pomoci tohoto systému možno propojovat do skupin až o 15 přístrojích a významně tak zvýšit jejich dosah. Následně se stačí připojit s mobilním zařízením k jedné z nich a vyzvednout uložená data ze všech ostatních připojených fotopastí. [3]

GSM

GSM (angl. Global System for Mobile Communication) je globální a široce používaná technologie pro komunikaci mobilních zařízení. V Evropě se používají systémy s označením GSM-900 a GSM-1800 a na americkém a australském kontinentu GSM-850 a GSM-1900, kde číslem za pomlčkou je vždy označeno frekvenční pásmo v MHz, na kterém technologie operuje. Mobilní síť je tvořena 3 základními subsystémy: Systémem základnových stanic

(angl. Base Station System, zkr. BSS), operačním a podpůrným systémem (angl. Operation and Support System, zkr. OSS) a síťovým a spínacím subsystémem (angl. Network and Switching Subsystem, zkr. NSS). Způsob propojení jednotlivých stavebních bloků této infrastruktury znázorňuje obrázek 2.8.

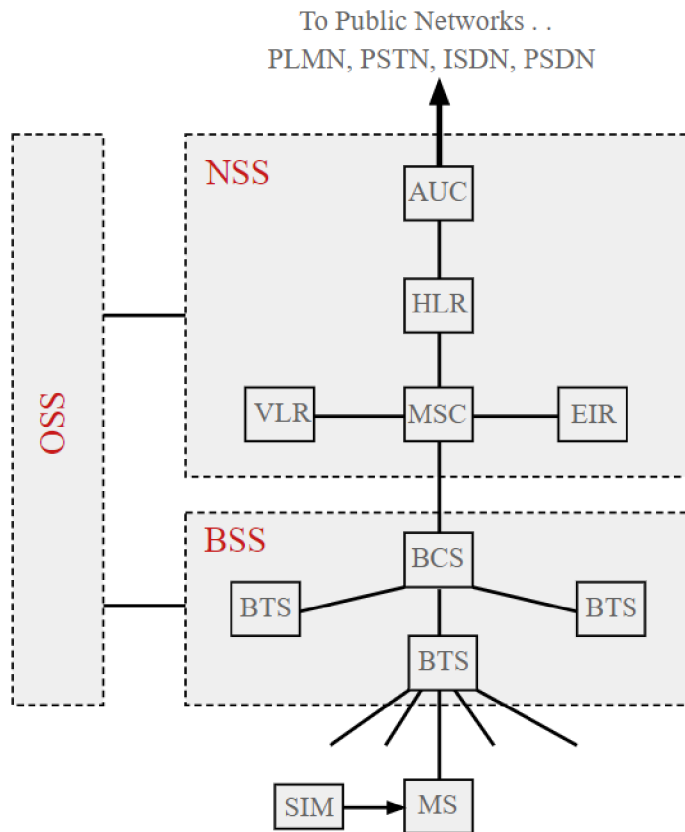
Systém základnových stanic se používá jako koncový stupeň sítě pro přímou komunikaci s mobilními zařízeními a skládá se ze dvou částí:

- *Základnová převodní stanice* (angl. Base Transceiver Station, zkr. BTS), která přímo komunikuje s cílovými zařízeními pomocí rádiových vysílačů a přidružených antén. Síť je tvořena buňkami, které pokrývají určité území a jsou určeny dosahem a umístěním BTS stanic. Buňka sousedí s dalšími buňkami a mobilní zařízení se připojí k BTS stanici té buňky, ve které se aktuálně nachází.
- *Ovladač základnové stanice* (angl. Base Station Controller, zkr. BSC) slouží jako přechodný prvek mezi systémy BSS a NSS. Spravuje větší počet BTS stanic a poskytuje jim alokaci kanálů a funkcionalitu pro různá měření a předávání režie mezi BTS stanicemi.

Síťový a spínací subsystém, někdy přezdívaný "jádro sítě", slouží k přepojování okruhů a paketů, čímž je umožněno spojování hovorů mezi mobilními zařízeními a datové přenosy. Zároveň obsahuje infrastrukturu pro sledování polohy mobilních zařízení, aby jim mohly být poskytovány další služby sítě. Součástí tohoto systému jsou následující subsystémy:

- *Ústředna veřejné mobilní sítě* (angl. Mobile services Switching Centre, zkr. MSC) umožňuje spojení mezi uživateli v rámci své sítě i ostatních sítí. Spravuje také záznamy o umístění mobilních účastníků a je zodpovědná za komunikační služby a účtování.
- *Domovský registr* (angl. Home Location Register, zkr. HLR), který je realizován jako databáze pro uchování administrativních informací o jednotlivých SIM kartách připojených k síti. Spolu s těmito údaji se ukládá také poslední známá lokace zařízení, aby bylo možno směřovat příchozí komunikaci na správnou BTS stanici.
- *Návštěvnický registr* (angl. Visitor Location Register, zkr. VLR) obsahuje vybrané informace o účastníkovi z domovského registru a povoluje mu konkrétní služby. Z důvodu efektivity a rychlého přístupu bývá často integrován přímo do ústředny MSC.
- *Registr mobilních zařízení* (angl. Equipment Identity Register, zkr. EIR) ukládá čísla IMEI, která jsou jednoznačným identifikátorem konkrétního mobilního zařízení. Při připojení do sítě se pak ověřuje, jestli je použití přístroje v dané síti povoleno a zdali nebyl odcizen.
- *Authentication Centre* (zkr. AuC) databáze pro autentizaci a šifrování komunikačních kanálů.

Systémy pro podporu provozu jsou souborem služeb pro monitorování a správu celé GSM sítě a také pro měření výkonnosti a vytížení jejich jednotlivých částí. Někdy se do nich zahrnují také aplikační služby jako je e-mail, web nebo informační systémy. [7, 5]



Obrázek 2.8: Zjednodušené schéma architektury GSM sítě. Ukazuje vzájemné propojení jednotlivých stavebních bloků její infrastruktury.⁷

Zřejmou výhodou fotopastí s GSM funkcionalitou je mnohem snazší přístup k pořízeným datům i vzdálená konfigurace fotopasti. S tím však přichází nevýhody v podobě vyšší ceny zařízení, dalších poplatků za využívání služby GSM a omezená schopnost vzdálené komunikace při nedostatečném pokrytí oblasti mobilním signálem.

Některé modely fotopastí umožňují nahrávat pořízená data přímo na výrobcem poskytovaný vzdálený server, na kterém s nimi může následně uživatel pracovat pomocí webové aplikace. Tyto služby bývají většinou zpoplatněny měsíčním nebo ročním předplatným nebo limitovány počtem snímků a dobou, po kterou s nimi lze pracovat. [26]

2.3 Typické použití

V současné době se fotopasti používají především k **ochraně majetku** před pachateli a k **pozorování zvěře**.

2.3.1 Ochrana majetku

Fotopast je obvykle nainstalovaná na skrytém nebo nedostupném místě střeženého prostoru a v případě detekce pohybu v oblasti zaznamená pachatele. Fotopasti pro toto použití ne-

⁷Převzato z: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/2g-gsm/network-architecture.php>

musí být nezbytně napájeny akumulátorem, jelikož mohou být připojeny přímo do elektroinstalace hlídaného objektu. Klade se důraz především na dobrou kvalitu fotografií a možnost pořízení videozáznamu, kvůli následné identifikaci pachatele a pořízení důkazních materiálů o trestné činnosti, které se dopustil. Další důležitou součástí bývá GSM modul pro okamžité odeslání upozornění a případně i pořízeného snímku nebo videozáznamu zodpovědné osobě formou elektronické pošty nebo SMS/MMS. Pro pořizování záznamů v podmínkách se zhoršenou viditelností se používá neviditelný infračervený přísvit s vlnovou délkou 940nm, který neprozradí polohu fotopasti. Stále frekventovanější instalace fotopastí na veřejných místech má také preventivní dopad, jelikož lidé nevědí kde jsou fotopasti umístěny. [15]

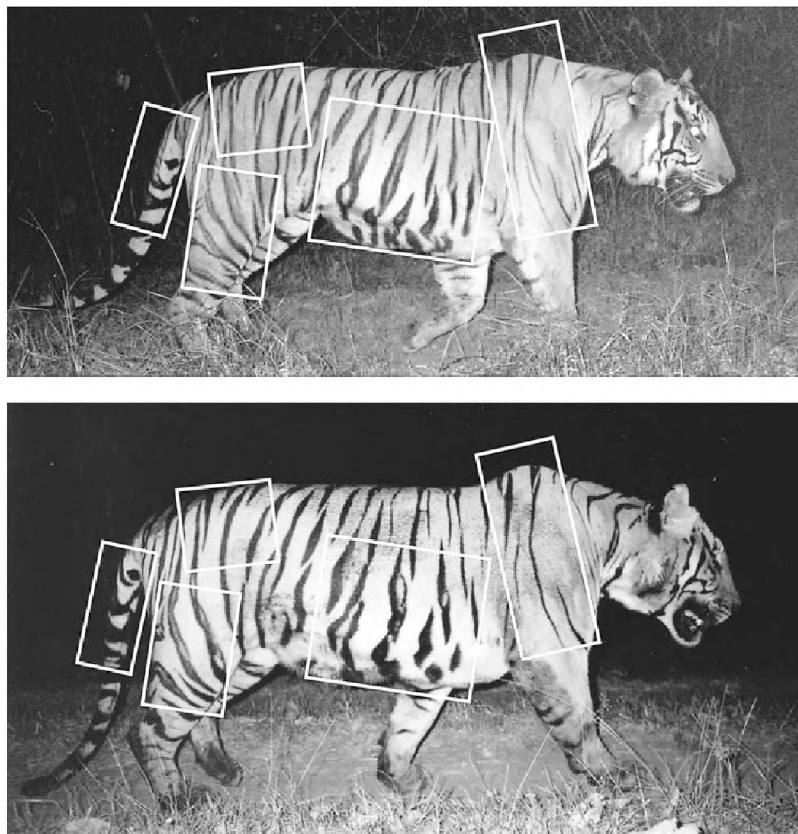
Fotopast je klasifikována jako druh kamerového systému a často se opomínají legislativní požadavky zákona č. 101/2000 Sb. o ochraně osobních údajů, podle kterého lze použití fotopasti pro účel ochrany majetku interpretovat jako cílené shromažďování osobních údajů. Běžná nedbalost se týká především nesplnění náležitostí § 13 tohoto zákona, který popisuje podmínky zabezpečení shromažďovaných snímků s osobními údaji před přístupem neoprávněných osob. [34]

2.3.2 Monitorování zvěře

Fotopasti se v této oblasti nejčastěji používají pro zachycení informací o výskytu savců, plazů a ptáků na jednoznačně ohraničeném území nebo pro dokumentární účely o některém konkrétním živočišném druhu. Jedná se o neinvazivní metodu monitoringu, která se zaměřuje převážně na nebezpečné a ohrožené živočichy nebo na ty, kteří se vyskytují v těžce přístupném terénu. Pro přilákání zvířete se občas používá návnada umístěná v blízkosti přístroje. [33]

Pro sledování zvěře se fotopasti v přírodě připevňují ke kmenům stromů, na skalní stěny nebo se zavěsí na místo, kde se předpokládá výskyt hledaného živočicha. Pro nalezení vhodných míst pro umístění zařízení se používají telemetrická data, výsledky hledání pobytových znaků nebo průzkumu výskytu. V závislosti na účelu se použije různý počet jednotek fotopastí. Pro pozorování jednotlivců nebo dokumentární účely postačí menší počet dobře nastavených fotopastí. Pokud je cílem jednoznačně identifikovat jedince, je zapotřebí minimálně 2 fotopastí vhodně umístěných tak, aby byl živočich zaznamenán z obou stran. Pro účely zjišťování četnosti druhu na určitém území se využívá statistických metod a velkého počtu fotopastí rozmístěných náhodně, rovnoměrně nebo ve shlucích. Nejčastěji používanou metodou pro odhad velikosti populace určitého živočišného druhu je model Capture-Recapture, který spočívá v zachycení určitého počtu jedinců daného druhu na snímek a zapamatování jejich jednoznačných tělesných identifikátorů, jako například vzorů srsti (obrázek 2.9). Po uplynutí předem definované časové lhůty se opět zachytí vzorek živočichů a poměr známých ku novým jedincům v této skupině by při správně nastavených parametrech metody měl být měřítkem pro velikost celé populace na daném území. Tyto metody nepočítají s úmrtím nebo narozením nových jedinců v intervalu mezi odchyty. [24, 21]

V případě umístění fotopasti ve venkovním prostředí je potřeba brát v úvahu nebezpečí poškození fotopasti zvířetem nebo vlivem přírodních jevů. Tomu musí být přizpůsobena konstrukce zařízení, čímž se zabývá sekce 2.4.2.



Obrázek 2.9: Porovnání nepatrných rozdílů ve vzoru srsti při jednoznačné identifikaci dvou různých jedinců tygra indického za využití fotopasti a modelu Capture-Recapture.⁸

2.4 Požadavky

Požadavky kladené na fotopasti se výrazně liší v závislosti na účelu použití, které rozebírá sekce 2.3. Následuje obecný přehled požadavků pro všechny běžné aplikace zaměřené na funkce a konstrukce moderních fotopastí.

2.4.1 Funkcionální požadavky

Spoušť

Fotopasti lze podle způsobu aktivace rozdělit na **nespínané** a **spínané**.

Nespínané snímání zachycuje jednotlivé snímky nebo vytváří časosběrný záznam podle nastaveného časového plánu. Pokud fotopast tuto funkci podporuje, lze obvykle nastavit interval (jednotky minut až hodin), v jakém se má zaznamenat snímek a denní časový rámec, mimo který se nezaznamenává nic. Taková funkcionalita je užitečná pro pořízení informace o veškeré aktivitě na určitém území, která proběhla v definovaném čase.

Spínané snímání vytvoří fotografii nebo začne nahrávat videozáznam od chvíle, kdy fotopast dostane podnět od zabudovaného detektoru pohybu (více o detekci pohybu v sekci 2.2.2).

⁸Převzato z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessing-tiger-population-dynamics-using-sampling.-Karanth-Nichols/f341987d25dbe507595c294d426e08aed65f0c30>

Ve fotopastech bývá v naprosté většině případů instalován PIR detektor pohybu. Hlavním požadavkem kladeným na PIR čidlo je vysoká citlivost a její nastavitelnost. Dalším požadavkem je co největší maximální vzdálenost, na kterou je čidlo schopno rozeznat pohyb a bývá v intervalu od 4 do 15 metrů v závislosti na použitém typu.

Některé modely podporují oba výše zmíněné způsoby aktivace. Taková fotopast je schopna pracovat podle nastaveného časového plánu a zároveň zachytit snímek v případě detekování pohybu. [8, 4]

Objektiv a obrazový snímač

Přední požadavek objektivu je **úhel záběru** a pohybuje se od 50° do 120°. Není vždy výhodou větší úhel záběru, jelikož objekty na zachyceném snímku pak mohou být menší a hůře rozpoznatelné. Tento parametr je vhodné volit podle vzdálenosti, na kterou se bude fotopast zaměřovat a platí zde nepřímá úměrnost mezi požadovanou vzdáleností a úhlem záběru objektivu. To platí především u nočního provozu za přítomnosti přisvětlení. Nejdůležitějším parametrem obrazového snímače je jeho **rozlišení**, neboli počet zachycených obrazových pixelů a u většiny fotopastí na trhu jeho hodnota dosahuje 3 Mpx až 12 Mpx. Někteří výrobci rozlišení uměle navyšují softwarovou interpolací [4]. Toho se dosahuje pomocí různých algoritmů, které vypočítají hodnoty nových pixelů na základě jejich okolí a tím efektivně zvyšují rozlišení obrazu při snaze minimalizovat ztrátu kvality. [22, 13]

Přisvit

Používané způsoby přisvětlení jsou rozebrány v sekci 2.2.3.

Pro ochranu majetku se používá neviditelné infračervené světlo o vlnové délce 940nm, aby nedošlo k prozrazení polohy fotopasti. Pro monitoring fauny postačí 850nm varianta nebo bílý viditelný záblesk, jelikož se primárně klade důraz na kvalitu pořízeného obrazu.

Požadavkem je také co největší dosah záření, aby byla osvětlena co největší plocha pozorovaného prostoru. To platí především u infračerveného přisvětlovacího systému, u kterého se efektivní vzdálenost pohybuje kolem 15m při použití 940nm iluminace a o 30-40% více u 850nm varianty. Na dosah a rozptyl přisvětlení má zásadní vliv počet a typ použitých LED. Při větším počtu budou na snímku lépe pozorovatelné detaily v pozadí i po stranách fotografie. [31]

Rychlost spouště

Rychlost spouště je doba, která uplyne od signalizace detektorem pohybu do zachycení prvního snímku fotopastí a pohybuje se od 0,1 sekundy výše. Požadavkem je co nejrychlejší pořízení snímku, aby zaznamenávaný objekt v tomto časovém intervalu nezmizel ze záběru kamery.

S rychlostí spouště souvisí i čas potřebný pro zotavení fotopasti do stavu, kdy je schopna vytvořit další záznam a nabývá hodnot 0,5s až 9s. U fotopastí s okamžitým vzdáleným odesláním snímků to může být i 30 a více sekund. [32, 4]

Notifikace o událostech

Moderní fotopasti mohou disponovat GSM modulem pro odesílání informací o zachycených snímcích nebo celých snímcích (případně ve snížené kvalitě) typicky na mobilní telefon nebo prostřednictvím systému elektronické pošty. Více o technologii GSM v sekci 2.2.4.

Především při použití fotopasti k ochraně majetku je tato funkcionalita velmi důležitá, jelikož se zřizovatel dozví o páchané trestné činnosti v řádu minut od jejího počátku a může na takovou situaci včas reagovat.

Úložiště

Naprostá většina běžně nabízených fotopastí ukládá zaznamenaná data na paměťovou kartu typu Micro SDHC. Liší se však v maximální podporované kapacitě, která se pohybuje kolem 16GB až 32GB. Nevýhodou představuje nutnost vyjmout paměťovou kartu ze zařízení, pokud je potřeba pracovat s pořízenými snímky a po tuto dobu zůstává fotopast nečinná. Kvůli tomu některé fotopasti nabízejí zároveň interní úložiště o omezené kapacitě pro ukládání dat bez přítomnosti paměťové karty.

Zaměřování

Pro správnou instalaci fotopasti je žádoucí funkce, pomocí které lze ověřit správné nasměrování kamery fotopasti a případně také, co je momentálně v jejím záběru. K tomu se používá testovací režim, ve kterém se při zaznamenání pohybu nezachytí snímek, ale rozsvítí se indikační světlo na fotopasti. Další možností je zaměřovací laserový paprsek, kterým jsou některé fotopasti vybaveny. [8]

Napájení

Jak dlouho vydrží fotopast bez výměny baterií závisí na její spotřebě elektrické energie a způsobu napájení. Obvykle jsou fotopasti napájeny 4 až 8 alkalickými nebo lithiovými články a existuje možnost externího dobíjení solární energií [27]. Výdrž nelze s přesností určit, jelikož záleží na mnoha faktorech. Především, zdali se natáčí videozáznam, jaká je frekventovanost sepnutí fotopasti a jak často je aktivní v noci za použití přisvětlení. Odhadem se doba pohybuje od 2 do 20 měsíců a požadavkem bývá co nejdélsí možná doba v pohotovostním režimu. [30]

Doplňující data

Některé fotopasti umožňují uložit dodatečná data, která informují o podmínkách, za kterých byl konkrétní záznam pořízen. Jedná se většinou o datum, čas, teplotu okolí, atmosferický tlak nebo aktuální měsíční fázi. Takové informace bývají užitečné při zkoumání pohybu lovené zvěře. [8]

2.4.2 Konstrukční požadavky

Maskování

Povrch obalu fotopasti je z důvodu prevence před odhalením zvěří nebo člověkem přizpůsoben prostředí, do kterého má být fotopast nasazena. Jedná se především o nevýrazné zbarvení a minimalizace lesklých ploch ze všech úhlů tvarováním polymeru obklopujícího přísvitové diody, jak ukazuje obrázek 2.10.



Obrázek 2.10: Minimalizace odleskových ploch přisvětlovacího systému tvarováním krycích polymerových stínidel.⁹

Odolnost

Jelikož jsou fotopasti určeny k provozu v přírodě bez dohledu provozovatele, musí být dobře chráněny před vlhkostí a prachem. Toto zaručuje standard úrovně ochrany IPxx, kde první číslice udává stupeň krytí před vniknutím pevných částic do přístroje a druhá číslice stupeň ochrany před kapalinou. Zvyšující se hodnota číslic v označení je přímo úměrná stupni krytí.

Požadavkem bývá ochrana stupně alespoň IP66, což odpovídá úplnému krytí před vniknutím prachu a vodního proudu ze kteréhokoliv směru (nikoliv však ponoření fotopasti do vody). [12]

Ochrana před člověkem

Základní ochranou před zcizením fotopasti je její připevnění ke stacionárnímu objektu jako je strom nebo sloup. K tomu bývají ve schránce fotopasti připravené otvory pro uchycení lanovým zámkem nebo kombinací řetězu a visacího zámku. [35]

⁹Převzato z: https://www.spypoint.com/manuals/Manual_SOLAR_EN.pdf

Kapitola 3

Možnosti realizace

Tato kapitola rozebírá alternativní přístupy k realizaci fotopasti z hlediska elektrického příkonu (sekce 3.1), počtu snímků uložených na paměťové médium (sekce 3.2) a finální ceny komponent prototypu (sekce 3.3). Dále následuje přehled několika vhodných modelů komponent, ze kterých bude poté vybrán jeden konkrétní pro finální návrh a realizaci prototypu fotopasti.

3.1 S ohledem na elektrický příkon

Okamžitý elektrický příkon určuje množství spotřebované elektrické energie a lze vypočítat jako součin vstupního napětí a proudu spotřebiče.

Při konstrukci fotopasti je velmi důležité se zabývat hodnotou příkonu jednotlivých komponent, protože je tím přímo ovlivněna výdrž baterií a tedy i dlouhodobá schopnost přístroje pořizovat data. Více o způsobech napájení fotopasti je popsáno v sekci 2.4.1.

Fotopast se běžně může nacházet ve dvou stavech. V **aktivním stavu**, ve kterém komunikuje se svými periferiemi, zachytává snímky z kamery a případně je odesílá pomocí modulu bezdrátové komunikace. V **pasivním stavu** čeká na podnět z vnitřního časovače (při nespínané variantě) nebo integrovaného detektoru pohybu. Po přijetí tohoto signálu přechází zpět do aktivního stavu a proces se opakuje.

Snahu o úsporu elektrické energie má smysl směřovat na oba zmíněné stavy, jelikož v aktivním stavu se přístroj sice nachází jen po velice krátkou dobu, avšak využívá značné množství energie, zatímco pasivním stavu je spotřeba silně potlačena, ale trvá mnohonásobně déle.

Snížení spotřeby celého přístroje v aktivním stavu lze dosáhnout výběrem komponent, které využívají při své činnosti menší množství energie. Spotřeba se většinou udává v podobě napájecího napětí a elektrického proudu, který je potřebný pro správnou funkčnost dané součástky. Alternativně lze využít softwarových přístupů pro snížení spotřeby, jako např. dynamické snižování hodinového taktu oscilátoru v mikrokontrolérech i závislých periferiích [2].

V pasivním stavu lze velké úspory dosáhnout přepnutím komponenty do úsporného režimu nebo režimu spánku, pokud takové nastavení podporuje. Druhým přístupem je odpojit komponentu od napájecího napětí až do doby, kdy bude opět potřeba její činnosti. Toto lze aplikovat např. u přisvětlovacího systému, modulu paměťové karty, kamerového modulu nebo řídicího systému fotopasti [23]. Detektor pohybu naopak musí zůstat trvale napájen, aby bylo možné aktivovat zbylé součásti fotopasti při jeho sepnutí.

3.2 S ohledem na počet uložených snímků

Pro následující rozbor maximálního možného počtu snímků ukládaných na paměťové médium bude zanedbáno konkrétní rozlišení fotografií a kapacita SD karty, protože to jsou zřejmé faktory, které tento parametr ovlivňují nejvíce. Je k tomu přistoupeno ve snaze vyhnout se zvyšování počtu snímků na úkor jejich kvality a ceny finálního řešení.

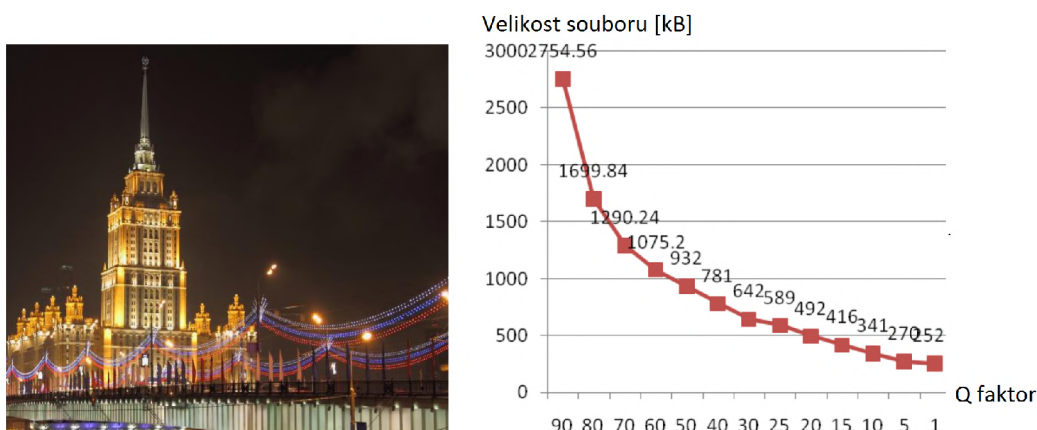
Pro snížení objemu paměti potřebné k uložení snímku se používá **kompresa**, což je proces redukce redundantních nebo postradatelných informací. Proces získávání původních dat ze zakomprimovaných se nazývá **dekompresa**. Souvisejícím pojmem je **kompresní poměr**, který udává účinnost kompresní metody z pohledu redukce ukládaných dat a vypočítá se podle vzorce 3.1.

$$r_s = \frac{S_b}{S_a} \quad (3.1)$$

V této rovnici r_s značí kompresní poměr, S_b velikost souboru před kompresí a S_a velikost po kompresi. Kompresní algoritmy lze rozdělit do dvou hlavních skupin, **bezeztrátová** a **ztrátová komprese**.

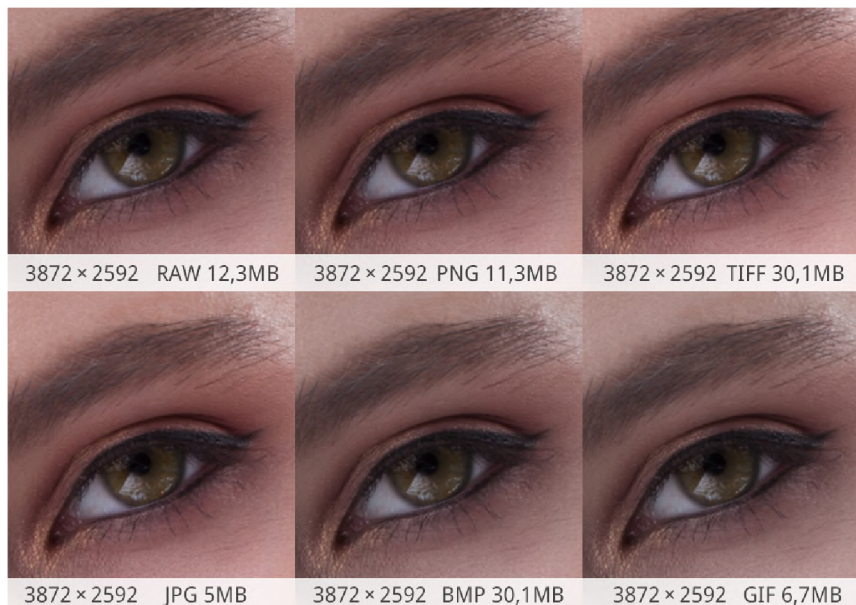
Jak již vyplývá z názvu, *bezeztrátová komprese* dosahuje snížení paměťové náročnosti bez ztráty původní informace. Někdy se pro ni také používá pojem *reversibilní*, jelikož algoritmy spadající do této skupiny dovolují zpětnou rekonstrukci komprimovaných dat. Z tohoto důvodu se používá v případech, kdy je zapotřebí dochovat veškeré původní informace, například pro kompresi textových a binárních souborů nebo radiologických obrazů. Největší nevýhodou bezeztrátové komprese pro použití v oblasti zpracování obrazu je relativně nízký kompresní poměr. Mezi bezeztrátové obrazové formáty patří PNG, TIFF, RAW, BMP a mnoho dalších.

Při použití *ztrátové komprese* se redukuje část původních dat s cílem dosáhnout co nejvyššího kompresního poměru a zároveň co nejmenšího možného dopadu na výslednou kvalitu. Nejčastěji se používá pro přenos a ukládání multimediálních informací jako je například streamování videa, ukládání fotografií, videozáznamů a zvukových stop. Mezi nevhodnější a nejpoužívanější formáty pro ukládání fotografií se ztrátovou kompresí patří především JPEG a JPEG 2000. Míru komprese a tedy i množství ušetřeného úložného prostoru udává v případě formátu JPEG takzvaný *Q faktor*. Závislost hodnoty Q faktoru na velikosti obrazového souboru lze vyčíst z grafu na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Vlevo se nachází výchozí fotografie. V pravé části je graf závislosti velikosti souboru na Q faktoru po ztrátové kompresi JPEG [18].¹

Grafické formáty obsahují různé další parametry, které ovlivňují kvalitu výsledného snímku i úsporu úložného prostoru a podrobnější zkoumání kompresních algoritmů díky své komplexitě není zahrnuto v této práci. Základní porovnání výsledků komprese a velikostí souborů nejčastěji používaných formátů znázorňuje obrázek 3.2. [14, 19]



Obrázek 3.2: Porovnání kvality a velikosti snímků různých obrazových formátů.²

3.3 S ohledem na finanční náročnost

Jedním z požadavků na výsledný prototyp fotopasti, který bude realizačním výstupem této práce, je nízká cena. Z tohoto důvodu bude pořizovací cena zahrnuta mezi rozhodovací faktory při výběru jednotlivých komponent s cílem dosáhnout co nejnižší hodnoty.

Tento faktor však může být ovlivněn horší dostupností některých součástí pro zakoupení v České republice a z toho důvodu pravděpodobně nebude možno dosáhnout absolutně největší možné finanční úspory.

3.4 Alternativy komponent

V této sekci je vybráno několik konkrétních modelů součástí fotopasti na základě kritérií popsanych v předchozích sekcích a kapitolách této práce. Následně z nich bude vybrána jedna možnost, která nejlépe vyhovuje požadavkům kladeným na prototyp v této práci.

3.4.1 Řídicí prvek

Řídicí prvek je centrální výpočetní jednotka fotopasti, která zpracovává údaje získané z detektoru pohybu (a případně dalších senzorů), načítá a zpracovává data pořízená kamerou,

¹Převzato z: <https://pdfs.semanticscholar.org/403e/140464327922af0ccad357d55e2caca63e00.pdf>

²Převzato z: <http://fixthephoto.com/tech-tips/difference-between-jpeg-and-png.html>

vytváří z nich obrazové soubory, které poté ukládá na paměťové médium. Také se stará o funkcionalitu přisvětlovacího systému a případnou logiku bezdrátové komunikace.

Ve fotopastech dostupných na trhu může být řídicí prvek implementován různými způsoby, např. mikrokontrolérem, obvodem ASIC³, technologií FPGA⁴ nebo jiným přístupem a výrobci běžně nesdílejí informace o konkrétní implementaci řízení periferií.

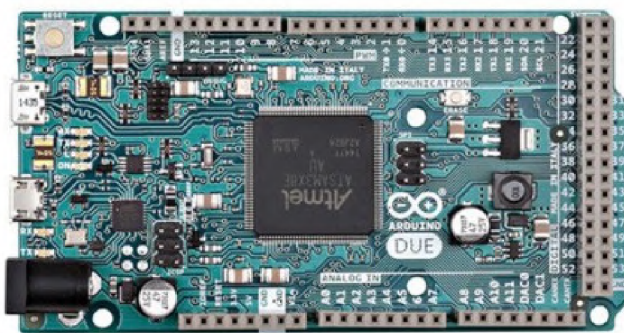
Pro výrobu prototypu v této práci bude využito přístupu s **mikrokontrolérem**, protože je to obecně dostupné, cenově příznivé a vyhovující řešení pro aplikaci ve vestavěném systému fotopasti. Dále se tato sekce bude zabývat výběrem vhodného typu mikrokontroléru pro výsledné řešení. Požadovanými vlastnostmi na vybraný mikrokontrolér jsou zejména nízká pořizovací cena, dostatečný výkon pro zpracování obrazových dat, schopnost rychlého startu (kvůli dostatečně rychlé reakci na podnět z detektoru pohybu), dostatek vstupně výstupních vývodů a rozhraní pro komunikaci se všemi periferiemi a případně možnost bezdrátové komunikace pomocí vestavěného WiFi modulu. Pro jednodušší práci s vývody a propojováním jednotlivých komponent fotopasti bude v prototypu implementována vývojová deska, která v sobě integruje vybraný mikrokontrolér.

Následuje přehled několika vybraných alternativ mikrokontrolérů, vývojových desek a jejich parametrů. Uvedené pořizovací ceny jsou reflektují dostupnost v České republice a jsou vždy pouze orientační.

Arduino Due

Arduino je platforma pro použití ve vestavěných zařízeních, která byla vytvořena především kvůli jednoduchému prototypování aplikací a práci při implementaci.

Vývojová deska Arduino Due (na obrázku 3.3) je založená na 32-bitovém mikrokontroléru ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8E společnosti Atmel. Programování probíhá pomocí vývojového prostředí Arduino IDE a programy pro Arduino se píšou nejčastěji v jazyce C a C++, případně lze využít sériového rozhraní pro komunikaci s externím programem psaným v jiném jazyce. V tabulce 3.1 lze nalézt vybrané technické parametry.



Obrázek 3.3: Vývojová deska Arduino Due.⁵

³Zákaznický integrovaný obvod (angl. Application-specific integrated circuit, zkr. ASIC) je na rozdíl od obecně použitelných mikrokontrolérů vyvinutý pro jeden specifický účel.

⁴Programovatelné hradlové pole (angl. Field-programmable gate array, zkr. FPGA) je integrovaný obvod obsahující programovatelné logické obvody, pomocí kterých lze vytvořit výslednou aplikaci.

⁵Převzato z: <https://store.arduino.cc/duo>

Mikrokontrolér	AT91SAM3X8E
Pracovní napětí	3,3 V
Digitální vstupy/výstupy	54 (z toho 12 podporuje PWM výstup)
Analogové vstupy	12
Analogové výstupy	2
Rozhraní	USB, I ² S, I ² C, SPI, TWI
Paměť FLASH	512 KB
Paměť SRAM	96 KB
Pracovní frekvence	84 MHz
Cena	901 Kč

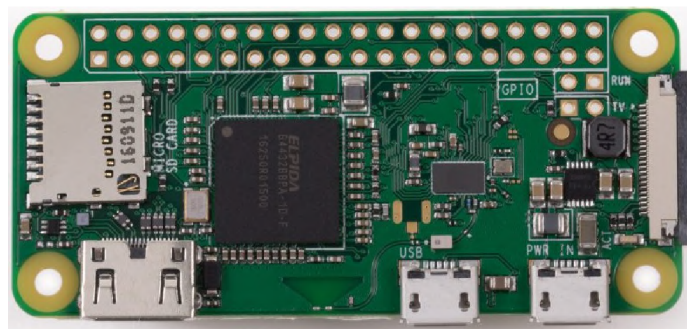
Tabulka 3.1: Parametry vývojové desky Arduino Due.⁶

Kód aplikace je přímo vykonáván mikrokontrolérem a není využito žádného operačního systému, čímž se snižuje režie potřebná k jeho udržování. Zároveň lze dosáhnout relativně krátkých intervalů od startu do vykonání prvního řádku kódu díky absenci inicializační sekvence operačních systémů. Arduino nabízí několik režimů spánku, pomocí kterých lze dosáhnout spotřeby v jednotkách miliampérů (při modifikaci desky až mikroampérů). Model DUE nabízí velký počet vstupně výstupních pinů a komunikačních rozhraní. Nevýhodou tvoří vyšší pořizovací cena a nižší výkonnost oproti jiným alternativám.

Raspberry Pi Zero W

Raspberry Pi je skupina miniaturních počítačů skládajících se pouze z jediné desky. Pracují primárně s operačním systémem Raspbian, který vychází z linuxové distribuce Debian a je silně optimalizován pro běh na zařízeních Raspberry Pi.

Model **Zero W** (na obrázku 3.4) je založený na čipu BCM2835 společnosti Broadcom a byl vytvořen pro integraci do IoT⁷ zařízení, čemuž odpovídá přítomnost bezdrátového modulu, malé rozměry a snížená spotřeba, výkon i cena. Technické parametry jsou shrnuty v tabulce 3.2.



Obrázek 3.4: Miniaturní počítač Raspberry Pi Zero W.⁸

⁶Produktová specifikace Arduino Due: <https://store.arduino.cc/duel>

⁷Internet věcí (angl. Internet of things, zkr. IoT) je souhrnný pojem pro vzájemně propojená elektronická zařízení, typicky s bezdrátovou konektivitou, používaná v každodenním životě.

⁸Převzato z: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/>

Mikroprocesor	Broadcom BCM2835 (ARM v7) jednojádrový
Pracovní frekvence	1 GHz
Operační paměť RAM	512 MB
Digitální vstupy/výstupy	40
Rozhraní	WiFi 802.11n (2,4 GHz), Bluetooth 4.1/BLE, Mini-HDMI, Micro USB, CSI kamerový konektor, MicroSD, SPI, I ² C
Cena	313 Kč

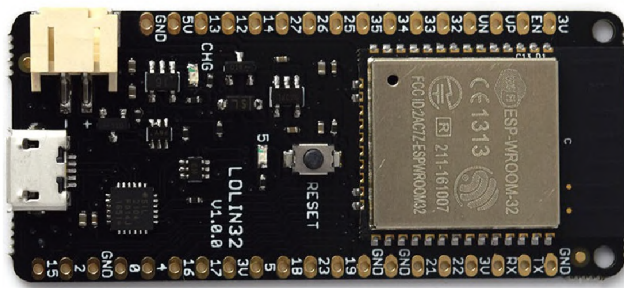
Tabulka 3.2: Parametry Raspberry Pi Zero W.⁹

Zero W nabízí velký výpočetní výkon, dobrou konektivitu pro práci s periferiemi, bezdrátovou komunikaci a zároveň velice příznivou cenu. Kvůli integraci operačního systému Raspbian však nelze systém uvést do stavu, ve kterém by byl schopen rychlé reakce na podnět z čidel a zároveň dlouhodobě udržoval nízkou spotřebu.

Wemos Lolin32 (Espressif ESP32)

Tato deska (na obrázku 3.5) integruje mikrokontrolér ESP32 od společnosti Espressif, která se zabývá vývojem speciálně navržených mikročipů pro účely IoT a bezdrátové komunikace. Technické údaje jsou v tabulce 3.3.

ESP32 je nástupcem po úspěšném modelu ESP8266 a přináší řadu vylepšení. Kromě malých rozměrů, ceny a spotřeby disponuje vyšší pracovní frekvencí dvoujádrového mikroprocesoru Tensilica Xtensa LX6, který zajišťuje možnost paralelních operací. Anténa pro bezdrátový signál technologií WiFi a Bluetooth může být integrována přímo na čipu nebo připojena externí. Softwarový základ ESP32¹⁰ tvoří operační systém pro vestavěné systémy FreeRTOS. Kromě oficiálního vývojového frameworku ESP-IDF, lze mikroprocesor programovat i pomocí podporovaného nástroje Arduino IDE. Samotný kód se píše v jazyce C a C++, případně MicroPython¹¹.



Obrázek 3.5: Wemos Lolin ESP32.¹²

⁹Produktová specifikace Raspberry Pi Zero W: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/>

¹⁰Datasheet dostupný online: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

¹¹MicroPython je zredukovaná implementace programovacího jazyka Python 3, která je přizpůsobena vestavěným a IoT platformám.

¹²Převzato z: https://wiki.wemos.cc/products:lolin32:lolin32#technical_specs

Mikrokontrolér	Espressif ESP32 (Xtensa 32-bit LX6 dvoujádrový)
Digitální vstupy/výstupy	26
Pracovní frekvence	240 MHz
Paměť SRAM	520 kB (+ 16 kB interní RTC)
Paměť Flash	5 MB
Rozhraní	WiFi 802.11n (2,4 GHz), Bluetooth 4.2/BLE, Micro USB, 4 x SPI, 2 x I ² C, 2 x I ² S, 3 x UART
Cena	250 Kč

Tabulka 3.3: Parametry Wemos Lolin32.¹³

ESP32 a operační systém FreeRTOS je dobrým kompromisem mezi výše zmíněnými deskami a disponuje dostatečně vysokým výkonem, nízkou pořizovací cenou a rychlým startem. V režimu hlubokého spánku je aktivní pouze RTC část mikroprocesoru a velmi úsporný koprocesor, čímž lze docílit spotřeby v řádu desítek mikroampérů [25].

STM32F103C8T6

STM32 je označení skupiny 32-bitových integrovaných obvodů od výrobce STMicroelectronics, které používají jádra mikroprocesorů z rodiny ARM.

STM32F103C8T6 je univerzální deskou vhodnou pro nejrůznější vestavěná zařízení. Lze ji koupit za nízkou cenu a dosahuje nízké spotřeby elektrické energie. To je však vyváženo pomalejší pracovní frekvencí a menšími velikostmi pamětí. [28]

Mikroprocesor	ARM32 CortexTM-M3
Digitální vstupy/výstupy	37
Pracovní frekvence	72 MHz
Paměť RAM	20 KB
Paměť FLASH	64 KB
Rozhraní	2 x I ² C, 3 x USART, 2 x SPI, CAN, Micro-USB
Cena	210 Kč

Tabulka 3.4: Parametry STM32F103C8T6. [28]

3.4.2 Kamerový modul

Pro jednodušší práci při sestavování prototypu bude vybraná kamera již integrována na desce kamerového modulu, který bude pořizovat obrazová data a předávat je dalšímu zpracování pomocí některého rozhraní. Pro výběr budou zohledněny především parametry jako typ, rozlišení obrazového snímače, zorný úhel objektivu, rozhraní pro přenos dat, možnost integrované paměti přímo na modulu s kamerou a podpora výstupního obrazu ve formátu JPEG. Nepřímým parametrem pro výběr nechť je pořizovací cena.

¹³Produktová specifikace Wemos Lolin32: https://wiki.wemos.cc/products:lolin32:lolin32#technical_specs

ArduCam OV5642

ArduCam vyrábí řadu kamerových modulů, specializujících se na použití ve vestavěných systémech s rozhraním SPI, I²C nebo USB a dodává k nim základní API. Původním záměrem bylo vyplnit mezeru na trhu s kamerovými moduly kompatibilními s platformou Arduino, díky čemuž pro tyto moduly existuje velice dobrá softwarová podpora v Arduino IDE a tedy i pro většinu mikrokontrolérů kompatibilních s tímto vývojovým prostředím.

Kamerový modul (na obrázku 3.6) obsahuje kameru OV5642 od výrobce Omnivision, SDRAM paměť o velikosti 8 MB jako FIFO buffer pro dočasné uložení zaznamenaných snímků, komunikační rozhraní SPI pro odesílání dat a konfiguraci a I²C pro nastavení parametrů senzoru. Čočky objektivu jsou měnitelné s upevňovacím standardem CS. Tabulka 3.5 obsahuje technické parametry tohoto modulu.



Obrázek 3.6: Kamerový modul OV5642 s FIFO bufferem.¹⁴

Rozlišení snímače	5 MPx
Typ snímače	CMOS
Max. rozlišení obrazu	2592 x 1944
Výstupní formát	RAW, YUV, RGB, JPEG
FIFO SDRAM	8 MB
Napájení	3,3 V
Rozhraní	SPI, I ² C
FOV čočky	90°
Cena	500 Kč

Tabulka 3.5: Parametry kamerového modulu OV5642.¹⁵

ArduCam Sony IMX219

Dalším modelem od výrobce ArduCam je IMX219, který byl vytvořen pro kompatibilitu s počítači z rodiny Raspberry Pi. Disponuje velkým rozlišením 8 MPx a možností dyna-

¹⁴Převzato z: http://www.arducam.com/downloads/shields/ArduCAM_Mini_5MP_Plus_OV5642_Camera_Module_DS.pdf

¹⁵Datasheet dostupný online: http://www.arducam.com/downloads/shields/ArduCAM_Mini_5MP_Plus_OV5642_Camera_Module_DS.pdf

mického odstranění infračerveného filtru, pro podporu nočního vidění. Komunikace probíhá pomocí kamerového rozhraní CSI a na modulu není integrována paměť. V následující tabulce 3.6 jsou údaje této desky.

Rozlišení snímáče	8 MPx
Typ snímáče	CMOS
Max. rozlišení obrazu	3280 x 2464
Výstupní formát	RAW, YUV, RGB, JPEG
Rozhraní	CSI
FOV čočky	70°
Cena	1 492 Kč

Tabulka 3.6: Parametry kamerového modulu ArduCam Sony IMX219.¹⁶

MicroCAM-II

Na trhu je dostupné množství kamerových modulů komunikujících po sériovém rozhraní s rychlostí přenosu 9600 až 921600 baud. Tyto kamery integrují snímáče s nižším rozlišením, typicky VGA.

MicroCAM-II je kompaktní modul, využívající CMOS snímáče, vyměnitelné čočky objektivu a podporuje výstupní formáty RAW a JPEG. K mikrokontroléru lze připojit pomocí rozhraní UART. Více o parametrech této desky je popsáno v tabulce 3.7. Příkazy pro řídicí čip modulu se tvoří pomocí jednoduchého sériového protokolu.

Rozlišení snímáče	0,3 MPx
Typ snímáče	CMOS
Max. rozlišení obrazu	640 x 480
Výstupní formát	RAW, JPEG
Rozhraní	Serial, UART
FOV čočky	56°
Cena	1 262 Kč

Tabulka 3.7: Parametry modulu microCAM-II.¹⁷

3.4.3 Detektor pohybu

Detektor pohybu je další z klíčových součástí fotopasti a je nezbytný k jejímu správnému fungování. Většina detektorů pohybu nevyužívá složitějších komunikačních rozhraní a přenos informací do řídicího prvku probíhá jedním vodičem.

Výběr konkrétního typu a modelu detektoru pohybu se bude orientovat především na nízkou cenu, spotřebu, dosah a úhel jeho senzoru.

¹⁶Produktová specifikace ArduCam Sony IMX219: <http://www.arducam.com/product/arducam-raspberry-pi-camera-v2-8mp-ixm219-b0103/#overView>

¹⁷Datasheet dostupný online: https://www.mouser.com/ds/2/451/uCAM-II_datasheet_R_1_0-472661.pdf

Mikrovlnný detektor HB100

Jedná se o úsporný a levný mikrovlnný detektor pohybu pracující na frekvenci 10.525 GHz, který využívá Dopplerova efektu. Kvůli nedostatkům mikrovlnných senzorů, zmíněných v teoretické části této práce (sekce 2.2.2) se hodí pro párování s PIR detektorem pohybu pro filtrování falešných sepnutí a zvýšení celkové spolehlivosti. Následují technické parametry HB100 v tabulce 3.8

Typ senzoru	Mikrovlnný
Napájení	5 V
Spotřeba	40 mA
Doba trvání pulzu	10 us
Doba odezvy	6 us
Dosah	>20 m
Cena	150 Kč

Tabulka 3.8: Parametry mikrovlnného senzoru pohybu HB100.¹⁸

PIR detektor pohybu HC-SR501

HC-SR501 je modul detektoru pohybu, který pracuje na principu PIR (popsáno v sekci 2.2.2). Modul kromě samotného senzoru obsahuje také odporové trimry, kterými lze nastavit časovou dobu sepnutí a citlivost detektoru. Zároveň lze pomocí propojky uvést detektor do jednoho ze dvou režimů: jednorázové sepnutí, při kterém se nastavená doba sepnutí počítá ihned po detekci pohybu nebo opakované sepnutí, při kterém se tato doba počítá až po odchodu objektu z detekčního dosahu senzoru. Po ukončení sepnutí nastává prodleva 2,5s pro zamezení rušení a po jejím uplynutí detektor může znovu reagovat na pohyb ve svém okolí. Další parametry nabízí tabulka 3.9.

Typ senzoru	PIR
Napájení	5 V
Spotřeba	65 mA
Klidový proud	50 μ A
Doba sepnutí	nastavitelná (0,3 až 300 s)
Detekční úhel	120°
Dosah	až 7 m
Cena	60 Kč

Tabulka 3.9: Parametry PIR detektoru pohybu HC-SR501.¹⁹

¹⁸Datasheet dostupný online: https://www.limpkin.fr/public/HB100/HB100_Microwave_Sensor_Module_Datasheet.pdf

¹⁹Produktová specifikace HC-SR501: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC%20SR501%20PIR%20Sensor%20Datasheet.pdf

Ultrazvukový detektor GH-311

Odolný a spolehlivý ultrazvukový senzor GH-311, který je vhodný pro použití ve vnitřních i venkovních bezpečnostních aplikacích. Je napájen netradičně 6-12V a disponuje velmi nízkou spotřebou a úzkým detekčním úhlem. Tabulka 3.10 nabízí technické parametry.

Typ senzoru	Ultrazvukový
Napájení	6-12 V
Spotřeba	2 mA
Detekční úhel	<15 st
Dosah	0,002 až 3 m
Cena	270 Kč

Tabulka 3.10: Parametry ultrazvukového detektoru pohybu GH-311.²⁰

²⁰Produktová specifikace GH-311: <https://www.emartee.com/product/41706/Arduino-Ultrasonic-Sensor-GH-311>

Kapitola 4

Prototyp fotopasti

Realizačním výstupem této práce je prototyp vestavěné fotopasti, která bude zaznamenávat snímky a ukládat je na paměťovou kartu. Tato kapitola dokumentuje sestavení tohoto prototypu z hlediska hardware i software.

4.1 Očekávané vlastnosti

Následuje přehled vlastností, kterých by mělo finální řešení dosahovat. Kromě požadavků na nízkou spotřebu, nízkou cenu a co nejvyšší počet ukládaných snímků bude prototyp navržen takovým způsobem, aby napodoboval běžně nabízené fotopasti s možností některých inovativních funkcí.

Zahrnuté vlastnosti běžně dostupných fotopastí:

- Pořízení snímků ve vysokém rozlišení
- Ukládání snímků ve formátu JPEG na paměťovou kartu Micro SD
- Bezdrátová komunikace se zařízením uživatele pomocí WiFi
- Přiřazení doplňujících informací ke snímku (datum a čas pořízení)

Inovativní funkce:

- Přisvětlovací systém kombinující infračervené a bílé viditelné osvětlení
- Rozšířená bezdrátová funkcionalita – živý přenos obrazu z kamery do připojeného zařízení, práce se snímky na paměťové kartě, nastavení parametrů fotopasti

Nezahrnuté vlastnosti běžně dostupných fotopastí:

- Pořízení videozáznamu (kvůli vysoké náročnosti na hardware a zvýšení ceny řešení)
- Vzdálený přenos pomocí GSM (kvůli vysoké spotřebě energie a pořizovací i provozní ceně)

4.2 Hardware

V této sekci jsou popsány použité součásti a postupy při vytváření hardwarové části prototypu fotopasti. V příloze C se nachází několik fotografií z postupu realizace prototypu a jeho finální podoba.

4.2.1 Komponenty

Podrobnosti a parametry některých vybraných součástí pro sestavení prototypu jsou dostupné v přehledu alternativ v sekci 3.4.

Řídicí prvek

Pro realizaci řídicího prvku fotopasti byla zvolena deska **Wemos Lolin32** s mikrokontrolérem ESP32 (sekce 3.4.1), protože se jedná o dobrý kompromis mezi ostatními alternativami. Tato varianta nabízí dostatečný výkon pro zpracování obrazových dat. Potenciál dvoujádrového procesoru v kombinaci s integrovaným modulem WiFi lze využít pro zpracování snímků z kamery a paralelní běh jednoduchého HTTP serveru pro bezdrátovou komunikaci s uživatelem. Velmi krátká inicializační sekvence mikroprocesoru je velmi důležitá pro aplikaci ve fotopasti. K dispozici také nabízí dostatek vstupně výstupních rozhraní, které jsou nezbytné pro připojování ostatních komponent. Vývojová deska není finančně náročná a má velmi malé rozměry, což je další výhodou pro integraci do vestavěného systému. Schéma desky Wemos Lolin32 se nachází v příloze B.

Kamerový modul

Vybrán byl model **ArduCam OV5642**, z důvodu dobrých optických vlastností, vysokého rozlišení snímače a kompatibilnímu rozhraní s vybraným mikrokontrolérem. Zároveň přináší výhodu integrované paměti a nízké pořizovací ceny. Parametry modulu jsou rozebrány v sekci 3.4.2.

Detektor pohybu

Dobrá spolehlivost, detekční úhel, dosah a použitelnost za obecných venkovních i vnitřních podmínek vedla k výběru PIR senzoru **HC-SR501** pro účel detektoru pohybu ve fotopasti. Podrobnosti se nachází v sekci 3.4.3.

Modul paměťové karty

Pro ukládání pořízených snímků bude použita paměťová karta typu Micro SDHC, jelikož se v současnosti jedná o nejběžněji používaný formát. Ukládání snímků na paměťovou kartu bude probíhat pomocí modulu **Catalex SPI MicroSD**. Jedná se o levné a vhodné řešení pro účely prototypu fotopasti. Tabulka 4.1 obsahuje parametry tohoto modulu.

Formát paměťové karty	Micro SD, Micro SDHC
Maximální kapacita paměťové karty	32 GB (Micro SDHC), 2 GB (Micro SD)
Komunikační rozhraní	SPI
Napájení	3,3 nebo 5 V
Cena	30 Kč

Tabulka 4.1: Parametry modulu paměťové karty Catalex SPI MicroSD.¹

¹Produktová specifikace modulu Catalex SPI MicroSD: <https://www.arduitronics.com/product/210/microsd-card-adapter-catalex>

RTC modul

Použitým modulem RTC² je model **DS3231**, který obsahuje velmi přesný oscilátor, teploměr, EEPROM paměť a komunikuje po sběrnici I²C. Interní teploměr se stará o teplotní kompenzaci a tím snižuje odchylku počítané časové hodnoty od reálné. Hodnotu teploty lze z modulu vyčíst ve stupních Celsia. Používá baterii pro udržení informace o čase i při výpadku napájení. Podrobnosti zařízení jsou v tabulce 4.2.

Provozní napětí	3,3 až 5 V
Max. proud	300 μ A
Paměťový čip EEPROM	AT24C32 (32 kB)
Přesnost	2ppm (pro 0 °C až 40 °C)
Rozhraní	I ² C
Typ baterie	LIR2032 nebo CR2032
Cena	70 Kč

Tabulka 4.2: Parametry RTC modulu DS3231.³

Přisvětlovací systém

Pro prototyp fotopasti bude přisvětlovací systém vyroben kombinací fotorezistoru a dvanácti LED. Logika přisvětlení má několik režimů a jejich nastavení je plně v režii uživatele. Nabízet bude výběr mezi infračerveným a bílým viditelným osvětlením. Dále může uživatel aktivovat, deaktivovat osvětlení nebo nastavit automatický režim, který přisvětlení aktivuje podle hodnoty dopadajícího světla na fotorezistor.

OSIXXA5111A je infračervená LED s úzkým vyzařovacím úhlem vhodná pro použití k IR komunikaci nebo konstrukci přisvětlení pro noční vidění kamery. Kvůli své vlnové délce 880nm je kompromisem mezi tradičními 850nm a 940nm variantami a přináší výhody obou typů. Tabulka 4.3 obsahuje technické parametry této součástky.

Typ LED	Infračervená
Vlnová délka	880 nm
Vyzařovací úhel	15°
Zářivost	30 mw/sr
Max. propustný proud	100 mA
Cena	3 Kč

Tabulka 4.3: Parametry IR LED 880nm diody OSIXXA5111A.⁴

Druhý typ přisvětlení používá **bílou studenou LED** (tabulka 4.4). Tato LED vyzařuje bílé světlo pro viditelné zábleskové osvětlení.

²Hodiny reálného času (angl. real time clock, zkr. RTC) je pojem pro elektronické zařízení schopné uchovávat informaci o čase pomocí trvalého napájení.

³Produktová specifikace RTC modulu DS3231: https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/real-time-clocks/DS3231.html/tb_tab0

⁴Datasheet dostupný online: <http://www.optosupply.com/uppic/2018124577215.pdf>

Typ LED	Viditelná bílá
Teplota barvy	6000 - 10000 K
Vyzařovací úhel	75°
Světelný tok	22 lm
Max. propustný proud	100 mA
Cena	6 Kč

Tabulka 4.4: Parametry bílé LED diody 05W580EW6C.⁵

Fotorezistor **GL5516** je použit pro zjištění informace o okolním osvětlení fotopasti. Disponuje velkým elektrickým odporem, pro minimalizaci ztrátového proudu. Jeho parametry jsou v tabulce 4.5.

Maximální napětí	150 V
Elektrický odpor (úplná tma)	0,5 MΩ
Elektrický odpor (osvětlení 10 lux)	5 - 10 kΩ
Cena	6 Kč

Tabulka 4.5: Parametry fotorezistoru GL5516.⁶

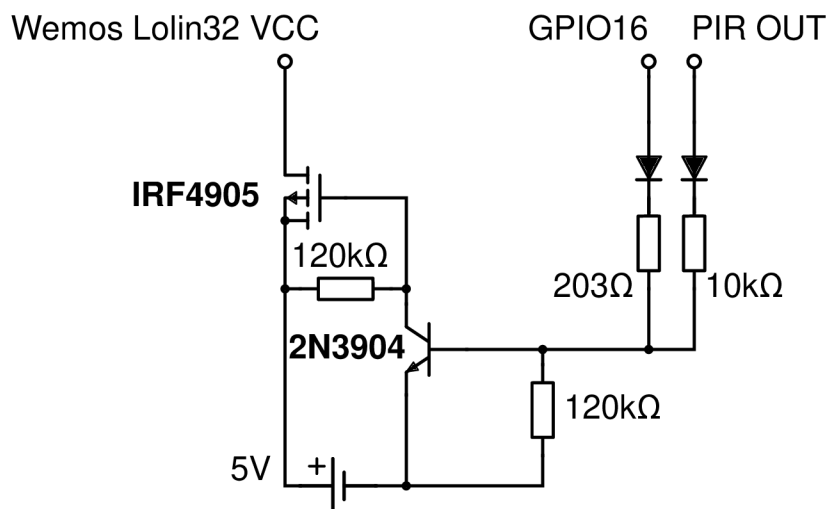
Napájecí obvod

Pro dosažení maximální možné úspory elektrické energie v neaktivním stavu fotopasti je v zapojení prototypu zahrnut obvod, který desku Wemos Lolin32 odpojí od napájení v případě ukončení činnosti mikrokontroléru. Jediná trvale napájená součást je detektor pohybu, který aktivací svého výstupního vodiče opět povolí napájení desky mikrokontroléru. Použité součástky a schéma zapojení je ukázáno na obrázku 4.1.

Správnou funkci tohoto obvodu zaručuje unipolární MOSFET tranzistor s P-kanálem označený **IRF4905** a bipolární NPN tranzistor **2N3904**. Unipolární tranzistor se dostává do sepnutého stavu v případě přivedení záporného pólu na vývod řídicí elektrody (gate). Toho je docíleno spojením řídicí elektrody s kolektorem bipolárního tranzistoru, který ho v případě sepnutí svede na záporný pól napájení. Napájení je tedy řízeno spínáním bipolárního tranzistoru, které může nastat dvěma způsoby. Prvním je krátkodobá aktivace výstupu detektoru pohybu. Pro udržení napájení i po deaktivaci detektoru pohybu je tranzistor spínán i druhým způsobem, kterým je výstupní pin mikrokontroléru s číslem **16**. Po startu mikrokontroléru je úroveň tohoto pinu nastavena na logickou 1 pro přidržení napájení a po dokončení činnosti fotopasti je nastavena úroveň logické 0, čímž dojde k přerušení sepnutého stavu bipolárního tranzistoru a následné odpojení desky od napájení. Pro udržení stability tohoto řešení jsou přidány pull-down a pull-up rezistory.

⁵Datasheet dostupný online: <http://dtsheet.com/doc/1253028/05w58-0ew6-c-led-specification-hebei-it--shanghai--co.--ltd>.

⁶Datasheet dostupný online: <https://www.kth.se/social/files/54ef17dbf27654753f437c56/GL5537.pdf>



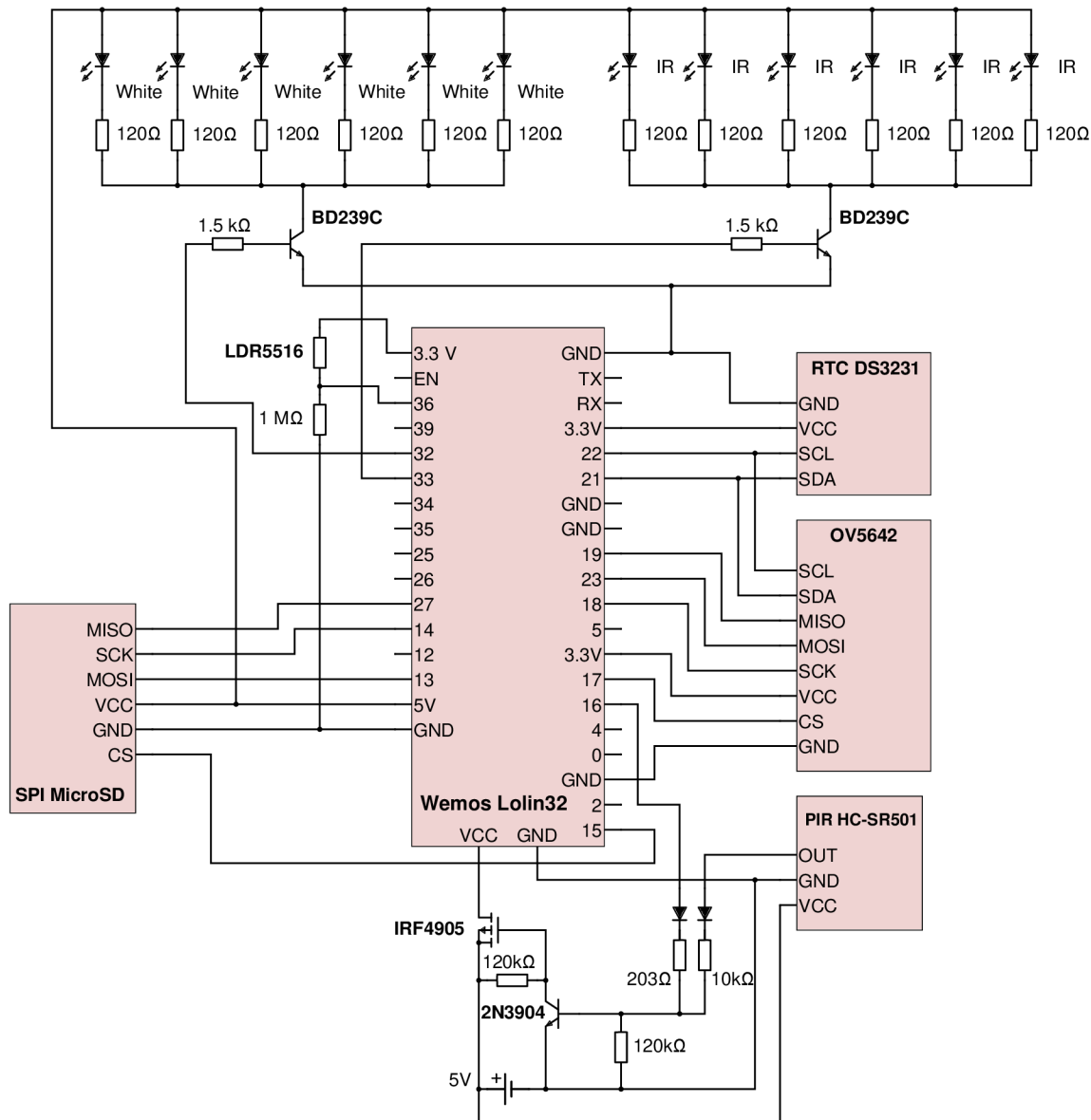
Obrázek 4.1: Napájecí a odpojovací obvod prototypu. Přivedením napětí na bázi bipolárního NPN tranzistoru 2N3904 se spojí záporný pól napájení s řídicí elektrodou MOSFET tranzistoru IRF4905. Tím je přivedeno napájecí napětí na napájecí vstup VCC desky Wemos Lolin32. Bipolární tranzistor je spínán PIR detektorem pohybu nebo výstupním pinem 16 mikrokontroléru ESP32.

Zdroj napájecího napětí

Pro napájení prototypu není navržen konkrétní akumulátor, jelikož je systém možno napájet přes konektor Micro USB. Fotopast lze tedy napájet jakýmkoliv zařízením, které pomocí tohoto rozhraní poskytuje stejnosměrné napětí 5V a výstupní proud alespoň 600mA. Tomu odpovídá většina přenosných akumulátorů s vysokou kapacitou pro dobíjení mobilních zařízení. V případě potřeby lze použít upraveného kabelu pro konverzi na jiný napájecí konektor.

4.2.2 Schéma zapojení

Schéma na obrázku 4.2 znázorňuje způsob, kterým jsou v prototypu propojeny jednotlivé komponenty, přisvětlovací systém a správa napájení.



Obrázek 4.2: Schéma zapojení prototypu fotopasti. Spínací NPN tranzistory BD239C slouží k aktivaci okruhu přisvětlení s infračervenými nebo viditelnými LED. Ve spodní části schématu se nachází odpojovací obvod napájení.

4.3 Software

Tato sekce se zaměřuje na popis softwarového vybavení a softwarovou realizaci zajímavých částí prototypu fotopasti.

4.3.1 Programové vybavení

Vzhledem k vybrané platformě řídicího prvku, kterým je mikrokontrolér ESP32, se nabízí dvě možnosti pro vývoj firmware fotopasti.

První možností je použití oficiálního IoT vývojového frameworku ESP-IDF poskytovaného firmou Espressif. Tento framework implementuje základní API pro veškeré součásti mikrokontroléru ESP32 v programovacím jazyce C. [6]

Při programování firmware prototypu fotopasti byla využita druhá možnost, kterou je nadstavba nad ESP-IDF v podobě modulu pro vývojové prostředí **Arduino IDE**. Tato volba byla vybrána z důvodu velkého množství volně dostupných knihoven pro většinu komponent vybraných v sekci 4.2.1. Program v prostředí Arduino IDE se píše v jazyce C nebo C++. V případě mikrokontroléru ESP32, který využívá FreeRTOS, lze volat funkce z API tohoto operačního systému. ESP32 disponuje dvěma jádry, které jsou označeny `core0` a `core1`.

4.3.2 Implementace

Inicializace a hlavní smyčka

Základní struktura programu psaného pro podporované platformy v Arduino IDE se skládá z funkcí `setup()`, která se volá hned po startu mikrokontroléru a `loop()`, která se volá periodicky, dokud není mikrokontrolér odpojen od napájení nebo restartován. Obě tyto funkce na ESP32 zpracovává jádro `core1`.

Prvním provedeným příkazem je nastavení logické 1 výstupnímu pinu 16 pro přidržení napájení (více o napájení v sekci 4.2.1). V inicializační části `setup()` se nachází nastavení režimu I/O pinů, inicializace SPI sběrnic, kamerového modulu, Micro SD modulu, RTC modulu a načtení perzistentních dat z uživatelské části paměti flash. Po dokončení inicializace je pro jádro `core0` vytvořena nová úloha, která inicializuje a obstarává WiFi spojení a jednoduchý HTTP server.

Ve funkci `loop()` se odehrává hlavní smyčka programu fotopasti. Tato funkce obsahuje cyklus, který v každém svém průchodu vytvoří unikátní název souboru a předá ho jako parametr funkci pro zachycení snímku a uložení na paměťovou kartu. Tento cyklus se opakuje v počtu, který definuje uživatel v nastavení fotopasti. Po dokončení zachytávání snímků a případné odpojení klientského zařízení od WiFi je nastavena hodnota logické 0 výstupnímu pinu 16 pro odpojení desky mikrokontroléru od napájení. Následuje příkaz pro restartování mikrokontroléru pro případ, že je ve stejný okamžik aktivní detektor pohybu.

Přisvětlení

Před pořízením snímku kamerou se podle nastaveného režimu přisvětlení načte a vyhodnotí hodnota z fotorezistoru a nastaví logická 1 na výstupu, který přivede patřičný tranzistor do sepnutého stavu. Tím se sepe obvod přisvětlovacího systému ovládající infračervené nebo bílé LED.

Zaznamenání a uložení snímku

Veškeré operace s kamerovým modulem probíhají pomocí volání funkcí z API, které poskytuje ArduCam. Nejdříve se nastaví požadované rozlišení snímku a zašle se příkaz pro spuštění snímání. Následně probíhá čtení již komprimovaného snímku ve formátu JPEG z FIFO bufferu kamerového modulu a jeho zápis do souboru na paměťové kartě.

Flash paměť

Pro ukládání uživatelského nastavení parametrů fotopasti je využito paměti flash, kterou ESP32 obsahuje. Pro tento účel byl v paměťové struktuře pomocí nástroje *ESP Partition manager*⁷ vytvořen nový oddíl `eeeprom0` o velikosti 1000B. Výslednou strukturu paměti znázorňuje tabulka 4.6.

Do takto vyhrazeného prostoru se ukládají údaje o zvoleném rozlišení, počtu snímků, režimu přisvětlení, vzoru pojmenování souborů, SSID a heslo WiFi hotspotu.

Název	Typ	Offset	Size
nvs	data	0x9000	0x5000
otadata	data	0xe000	0x2000
app0	app	0x10000	0x140000
app1	app	0x150000	0x140000
eeeprom0	data	0x290000	0x1000
spiffs	data	0x291000	0x16d000

Tabulka 4.6: Upravená tabulka flash paměti mikrokontroléru ESP32 s přidáním oddílem `eeeprom0` pro uživatelská nastavení.

WiFi a HTTP server

WiFi v ESP32 může pracovat v režimu *přístupového bodu (AP)* nebo se připojit k již existující WiFi síti v režimu *station*. Pro účely fotopasti je vhodnější první varianta. Před spuštěním přístupového bodu se načtou z flash paměti uživatelsky definované parametry SSID a heslo WiFi sítě.

Po úspěšném vytvoření WiFi AP, je spuštěn **HTTP web server**, který pomocí zpětných volání (callbacků) obstarává požadavky připojeného klienta. Zasílá mu požadované dokumenty v HTML podobě, živý přenos snímků z kamery jako MIME typ `multipart/x-mixed-replace` nebo jednotlivé snímky z paměťové karty s MIME typem `image/jpeg`. Jednotlivé HTML dokumenty nejsou uloženy na SD kartě, ale v programové části flash paměti mikrokontroléru, aby byla zaručena funkcionality web serveru i při vyjmuté paměťové kartě. Dokumenty jsou minimalizované z důvodu úspory paměti. To má také výhodu menšího objemu odesílaných dat a uživatel to pocítí jako rychlejší načtení stránky ve webovém prohlížeči. Statická IP adresa pro připojení k zařízení je `192.168.4.1`.

⁷ESP Partition manager je nástroj pro úpravu struktury flash paměti dostupný jako příslušenství, které lze doinstalovat přímo do prostředí Arduino IDE.

Následující úryvek kódu ukazuje způsob, kterým je implementována odpověď serveru na požadavek odeslání jednoho snímku z paměťové karty do vzdáleně připojeného zařízení. Pro snížení režie HTTP serveru při odesílání byl použit buffer o velikosti 2048B.

```
String response = "HTTP/1.1 200 OK\r\n";
response += "Content-Type: image/jpeg\r\n\r\n";
server.sendContent(response);

int idx = 0;
while (img.available()) {
    // Buffering for better performance
    buffer[idx++] = img.read();
    if (idx == bufferSize) {
        client.write(&buffer[0], idx);
        idx = 0;
    }
}
if (idx > 0) {
    client.write(&buffer[0], idx);
}
```

Komunikace s uživatelem

HTML stránky umožňují vzájemnou interakci mezi fotopastí a zařízením připojeným k WiFi AP. Jelikož se veškeré zdrojové kódy těchto stránek uchovávají v programové paměti ESP32, byly vytvořeny s ohledem na úsporu pomocí základních technologií HTML, CSS a Javascript. Jediným použitým frameworkem pro Javascript je minimalizovaná verze *jQuery* nazvaná *Zepto.js*⁸ ve verzi 1.2.0. Všechny ikony jsou uloženy přímo ve zdrojovém kódu pomocí kódování `base64`.

Pomocná data (např. výčet souborů a adresářů pro odstranění z paměťové karty) mezi fotopastí a webovým prohlížečem klienta jsou posílána v čitelné podobě ve formátu *JSON*. Jsou vytvořeny 3 hlavní dokumenty, které odpovídají položkám v horním menu:

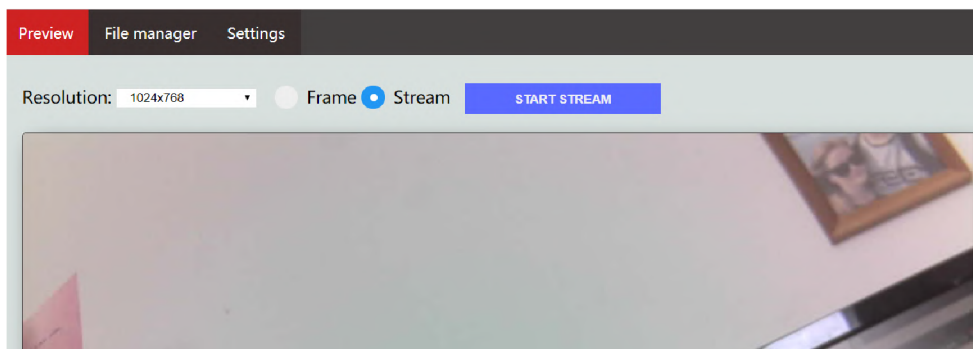
- **"Preview"** umožňuje živý přenos obrazu z kamery ve zvoleném rozlišení nebo zachycení jednoho statického snímku (sekce 4.3.2).
- **"File manager"** slouží pro stahování a odstraňování souborů a adresářů z paměťové karty fotopasti (sekce 4.3.2).
- **"Settings"** pro nastavení parametrů fotopasti (sekce 4.3.2).

Stránka "Preview"

Stránka `192.168.4.1/preview.html` je výchozí stránkou webového rozhraní a uživatel je na ni přesměrován při zadání jakéhokoliv neznámého URL. Nabízí pořízení snímku a jeho zobrazení přímo ve webovém prohlížeči nebo možnost živého přenosu, kde jsou jednotlivé pořízené snímky odesílány a vykreslovány v rychlém sledu za sebou. Také je možno změnit

⁸<https://zeptojs.com/>

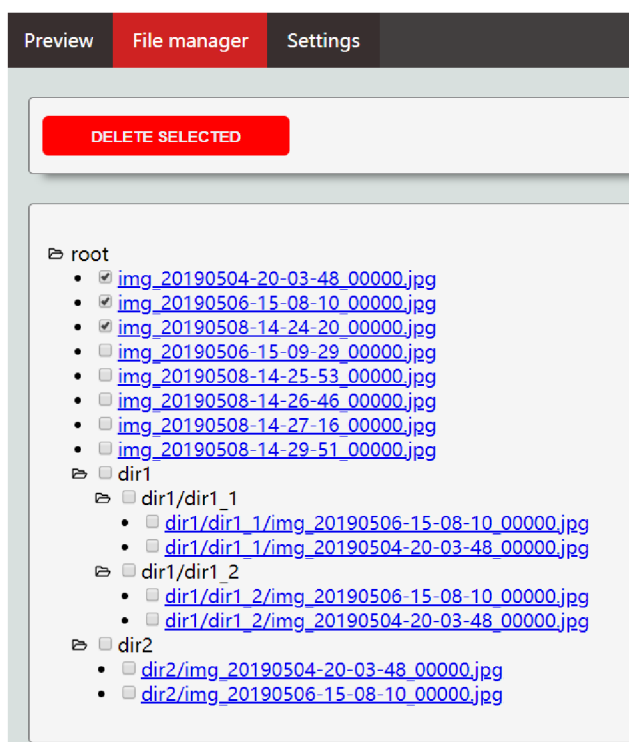
požadované rozlišení. Jak vypadá pohled z webového prohlížeče připojeného zařízení ukazuje obrázek 4.3. Tato funkcionality byla zahrnuta kvůli zjednodušení instalace fotopasti, při které uživatel může sledovat přesný záběr kamery fotopasti.



Obrázek 4.3: Živý přenos snímků a jejich vykreslování ve webovém prohlížeči připojeného zařízení.

Stránka "Filemanager"

Na stránce 192.168.4.1/filemanager.html se nachází graficky znázorněná adresářová struktura paměťové karty. může uživatel stahovat jednotlivé snímky ve formátu JPEG přímo do svého připojeného zařízení. Zároveň lze odstranit vybrané soubory nebo celé adresáře z paměťové karty. Obrázek 4.4 ukazuje pohled na tuto stránku z webového prohlížeče.

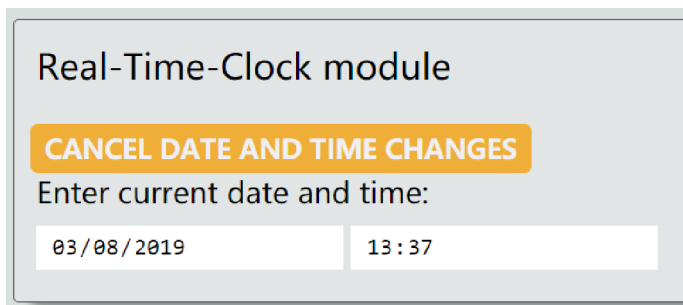


Obrázek 4.4: Vzdálená správa souborů a adresářů na paměťové kartě fotopasti. Kliknutím na název souboru započne jeho stahování. Označením a kliknutím na tlačítko *Delete selected* se vybrané položky trvale odstraní.

Stránka "Settings"

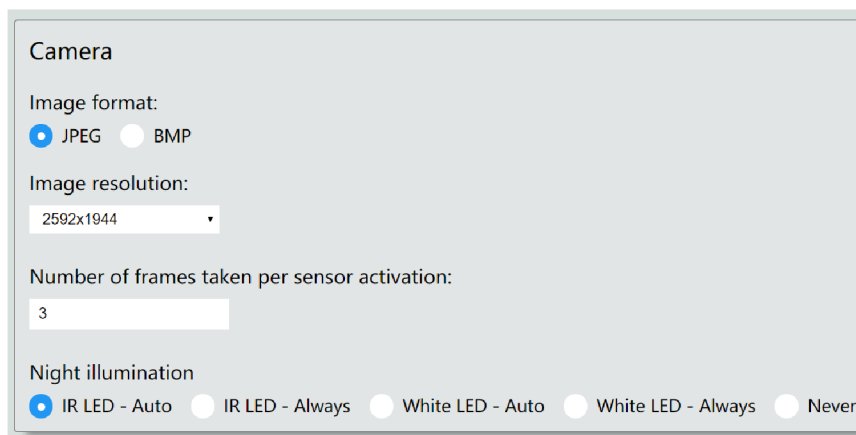
Stránka `192.168.4.1/settings.html` uživateli slouží pro nastavení parametrů fotopasti a je rozdělena do několika segmentů. Komunikace mezi webovým prohlížečem a HTTP serverem na ESP32 je implementovaná asynchronně. Výhodou tohoto přístupu je větší dynamičnost a uživatel dostane zpětnou vazbu po stisknutí tlačítka pro uložení v podobě oznámení "*Changes saved*".

V části RTC modulu (obrázek 4.5) lze manuálně nastavit jeho čas. Výchozí předvyplněná hodnota je automaticky zjištěna z připojeného zařízení.



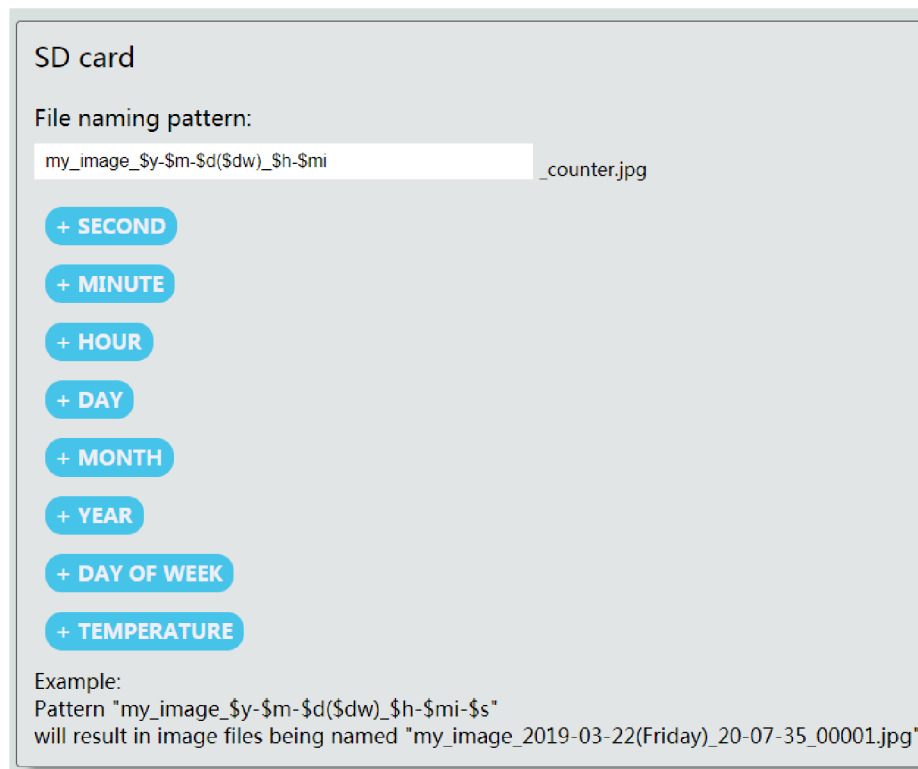
Obrázek 4.5: Nastavení času RTC modulu ve webovém prohlížeči.

V segmentu **Camera** lze nastavit rozlišení kamery, počet zaznamenaných snímků a režim přisvětlení. Pro budoucí implementaci je připravena i možnost změny obrazového formátu. Pohled na tuto část stránky ukazuje obrázek 4.6.



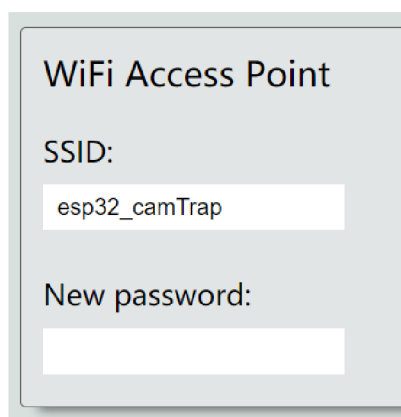
Obrázek 4.6: Nastavení parametrů kamery a přisvětlení ve webovém prohlížeči.

V další části byla implementována možnost sestavit vlastní vzor pro název souborů s využitím hodnot dostupných z RTC modulu (např. hodina, minuta, teplota, apod.). Tato funkcionality je spolu s vysvětlujícím příkladem zobrazena na obrázku 4.7.



Obrázek 4.7: Rozšířená možnost pojmenování souborů pomocí zástupných symbolů. Zástupné symboly začínající znakem dolaru budou vyhodnoceny a nahrazeny aktuálními údaji v moment pořízení snímku.

Poslední část této stránky nabízí možnost editovat SSID a heslo přístupového bodu WiFi (na obrázku 4.8). Heslo není z bezpečnostních důvodů předvyplněno. Aby byly nové změny reflektovány, je zapotřebí fotopast restartovat. Restart fotopasti lze provést vzdáleně tlačítkem v pravé horní části menu.



Obrázek 4.8: Nastavení SSID a hesla přístupového bodu WiFi.

4.4 Testování a vyhodnocení

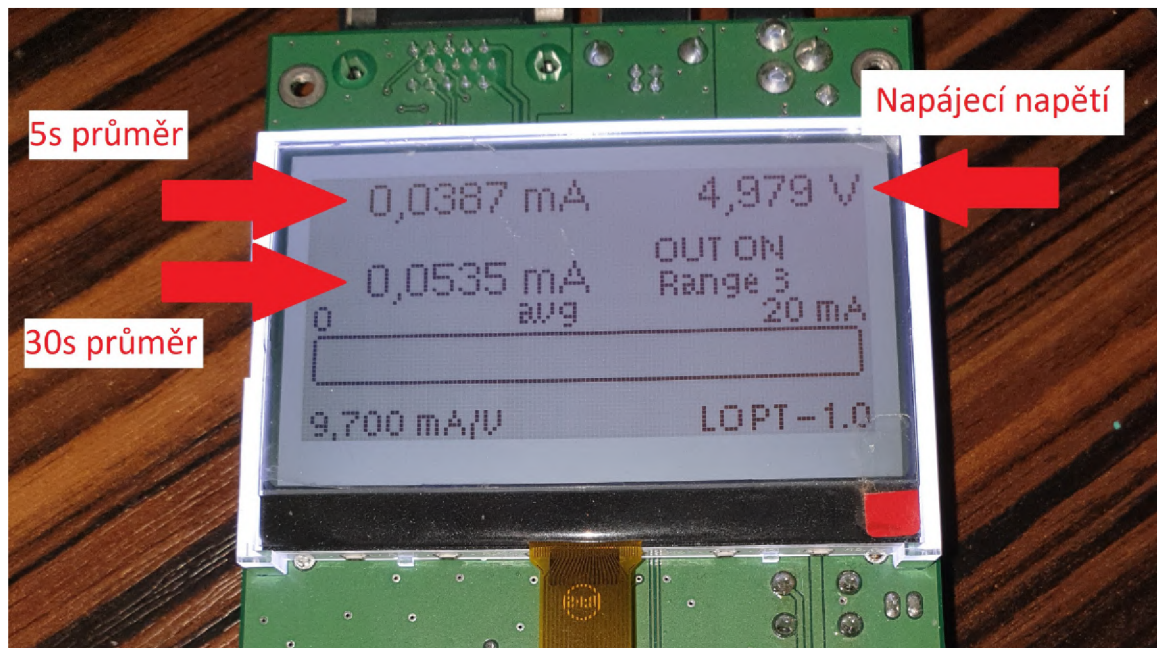
Tato část práce obsahuje testování požadovaných parametrů prototypu fotopasti. Jde o jsou spotřebu energie, maximální počet uložených snímků na paměťovou kartu a pořizovací cenu. Následně jsou dosažené výsledky porovnány s řešeními, které jsou komerčně nabízené na trhu. V poslední sekci je vyhodnocena kvalita pořízených fotografií.

4.4.1 Spotřeba energie

Prototyp fotopasti je napájen přes Micro USB rozhraní. Pro potřeby následujících výpočtů bude zahrnut pouze využitý proud s předpokladem napájení napětím 5V.

Naměřená průměrná spotřeba prototypu v *aktivním stavu* je **379mA**. Tato hodnota byla vypočítána aritmetickým průměrem z jednotlivých časových intervalů, kdy kamera zaznamenává snímky z kamery a ukládá je.

Spotřeba proudu v *pasivním stavu* se rovná spotřebě PIR senzoru pohybu, který je napájen neustále. Tato hodnota by se podle technických parametrů udávaných výrobcem měla pohybovat okolo $50\mu\text{A}$. Reálná spotřeba byla naměřena v hodnotě **53,5 μA** (obrázek 4.9). Podrobnosti o použitém detektoru pohybu jsou v sekci 3.4.3.



Obrázek 4.9: Měření spotřeby prototypu v pasivním stavu, kdy je napájen pouze PIR senzor pohybu. Pro tento účel byl od firmy EGMedical, s.r.o. zapůjčen měřicí přístroj s vysokou přesností a schopností kalkulace průměru z kontinuálního měření.

Dalším důležitým parametrem pro odhad výdrže je doba, po kterou fotopast zaznamenává a ukládá snímek. Tato doba se liší podle nastaveného rozlišení a pohybuje se od 1,2s pro snímek s rozlišením 320x240 po zhruba 2,4s pro snímek v nejvyšším rozlišení 2592x1944. Průměrná hodnota je pak přibližně 1,7s. Je také potřeba přičíst počáteční inicializaci, která trvá zhruba 1s.

Maximální doba, po kterou bude fotopast schopna fungovat se silně liší podle nastavení rozlišení, přisvětlení a počtu snímků, které se mají zaznamenat při každé aktivaci. Dalším

rozhodujícím faktorem je frekvencovanost sepnutí fotopasti. Pro následující odhad doby výdrže prototypu bude zanedbána doba, po kterou fotopast čeká na připojení uživatele přes WiFi. Zároveň bude počítána doba pro uložení jednoho snímku s rozlišením 2592x1944 bez přisvětlení. Průměrná četnost aktivace fotopasti nechť je 1x za hodinu. Hodinová spotřeba elektrického proudu I_h lze vypočítat pomocí vzorce 4.1, kde I_a je hodnota okamžitého proudu v aktivním stavu a t_a je čas strávený v aktivním stavu fotopasti, který je pro tento případ roven 3,4s. I_p je proud odebíraný detektorem pohybu v pasivním režimu. Pro zjednodušení je tato zanedbatelná hodnota zahrnuta i do aktivního stavu fotopasti.

$$I_h = \frac{I_a * t_a + I_p * (3600 - t_a)}{3600} \quad (4.1)$$

Po dosažení a vypočítání je hodnota hodinové spotřeby prototypu rovna **0.4114mA**. Pro spočítání odhadované doby výdrže prototypu je nyní potřeba zvolit kapacitu napájecího akumulátoru. Pro finální odhad je použita kapacita 2700mAh, která odpovídá běžným AA bateriím. Takové baterie jsou použity pro napájení většiny komerčně dostupných fotopastí. Po vydělení kapacity vypočítanou hodinovou spotřebou vychází odhadovaná doba výdrže na 6562 hodin, což po zaokrouhlení odpovídá **9 měsícům** provozu.

Dosažená výdrž je srovnatelná s většinou fotopastí v současné době dostupných na trhu. Více o napájení běžných fotopastí a jejich výdrži je napsáno v sekci 2.4.1.

4.4.2 Maximální počet snímků

Pro zjištění maximálního možného počtu snímků, které lze uložit na paměťovou kartu, byly vytvořeny 3 série po 10 fotografiích. Každá série byla pořizována při jiném stupni osvětlení a se snahou diverzifikovat množství detailů a stejnobarevných ploch, jelikož tyto faktory hrají zásadní roli při ztrátové kompresi. Všechny snímky byly pořízeny v maximálním rozlišení 2592x1944. Závěrem byly zprůměrovány velikosti souborů všech pořízených snímků. Výsledná velikost jednoho průměrného snímku je **407,14 kB**. Tabulka 4.7 ukazuje maximální počty snímků, které lze uložit na paměťové karty běžných velikostí.

Velikost paměťové karty	Maximální počet snímků
512 MB	1257
1 GB	2456
2 GB	4912
4 GB	9824
8 GB	19649
16 GB	39298
32 GB	78597

Tabulka 4.7: Přehled maximálních počtů snímků v rozlišení 2592x1944 o průměrné velikosti 407,14 kB po JPEG kompresi, které lze uložit na paměťovou kartu.

Dosažené hodnoty lze porovnat s komerčně dostupnou fotopastí Exodus LIFT II. Tento model dosahuje velikosti souborů 1 MB při použití 5 Mpx rozlišení, které odpovídá testovanému prototypu [29]. Bylo tedy dosaženo **2.45** násobku úspory oproti komerčnímu řešení fotopasti. Tento údaj však může být silně ovlivněn mnoha faktory, které se týkají použité kamery i softwarového zpracování obrazu.

4.4.3 Výsledná cena

Jedním z požadavků na prototyp je nízká realizační cena. Celkové náklady na stavbu prototypu fotopasti nelze s přesností určit, jelikož některé pomocné materiály byly použity z vlastních zdrojů. Jedná se o rezistory, tranzistory, propojovací vodiče, propojovací desku, cuprexitovou desku, leptací roztok, pájecí materiál a další. Pro položky, které nebyly pro použití v tomto projektu zakoupeny je vytvořen souhrnný cenový odhad. Výsledná cena je tedy součtem pořizovacích cen jednotlivých součástí, které byly v prototypu použity a je rozepsána v tabulce 4.8.

Položka	Cena [Kč]
Wemos Lolin32 (ESP32)	250
Kamerový modul OV5642	500
PIR detektor pohybu HC-SR501	60
Catalex SPI MicroSD	30
RTC modul DS3231	70
6 x bílá LED 05W580EW6C	36
6 x IR LED OSIXXA5111A	18
Fotorezistor GL5516	6
Pomocné součásti	~50
Celkem	1020

Tabulka 4.8: Rozpis pořizovacích cen jednotlivých komponent a jejich součet.

Porovnání dosažené pořizovací ceny s konkrétními modely by bylo zavádějící, jelikož dnešní fotopasti se velice liší kvalitou provedení a funkcionalitou. Ceny běžně nabízených fotopastí s WiFi konektivitou se pohybují od 1 355 Kč do 16 064 Kč. Cena byla přepočítána s kurzem, pro který 1 USD odpovídá 22.98 Kč.

4.4.4 Pořízené snímky

Snímky fotopasti byly pořizovány za různých podmínek a lze konstatovat, že prototyp je schopen vytvořit velmi kvalitní fotografie. Toto tvrzení dokazují snímky v příloze D a především pak detail na obrázku D.9.

Při použití bílého viditelného přisvětlení je střed výsledné fotografie dobře viditelný, což lze pozorovat na snímku E.1. V případě infračerveného přisvětlení je výsledek velice tmavý a celkově dosahuje horší kvality. To je způsobeno malým výkonem infračervené části přisvětlení, jelikož bylo použito pouze 6 infračervených LED. Snímek pořízený v tomto režimu přisvětlení ukazuje obrázek E.2.

Kapitola 5

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit prototyp fotopasti, který bude disponovat nízkou spotřebou, vysokým počtem uložených snímků na paměťovou kartu a nízkou pořizovací cenou.

Na začátku této práce proběhlo seznámení s pojmem *fotopast*, jejími klíčovými součástmi a používanými technologiemi. Dále byly diskutovány problémy a možná řešení, která se týkají spotřeby fotopasti, úspory velikosti ukládaných souborů pomocí komprese a pořizovací ceny.

Na základě těchto poznatků jsem vybral jednotlivé komponenty, které nejlépe odpovídaly zmíněným požadavkům. Při výběru součástí bylo zároveň potřeba myslet na okolnosti a omezení související s jejich integrací do fotopasti a dostupností na tuzemském trhu. Z vybraných součástí a naprogramovaného firmware byl vytvořen výsledný prototyp fotopasti.

Při návrhu a realizaci jsem kromě požadavků zadání cílil také na inovativní funkce, které běžně dostupné fotopasti nenabízí. Inovativními funkcemi je hybridní přisvětlovací systém, který kombinuje infračervené i viditelné světlo a rozšířená správa fotopasti pomocí WiFi pro živý přenos obrazu, práci se soubory na paměťové kartě a nastavení fotopasti.

V závěrečné části této práce jsem testoval sestavený prototyp a vyhodnotil dosažené výsledky s komerčně nabízenými fotopastmi. Z vyhodnocení vyplynulo, že prototyp dosahuje dobrých výsledků a může v testovaných parametrech konkurovat řešením nabízeným na trhu.

Pro případné budoucí navázání na tuto práci existuje řada možných vylepšení, mezi které patří implementace natáčení videozáznamu, přidání modulu GSM pro bezdrátové odesílání metadat a snímků uživateli nebo rozšíření webového rozhraní o nové funkce. Díky zahrnutému RTC modulu by zajímavým rozšířením také mohla být možnost časosběrného záznamu s nastavitelným denním plánem.

Literatura

- [1] Abdelrahman, R. B. M.; Mustafa, A. B. A.; Osman, A. A.: *A Comparison between IEEE 802.11a, b, g, n and ac Standards. IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, ročník 17, č. 5, 2015, e-ISSN: 2278-0661, p-ISSN: 2278-8727.
- [2] Bogdanov, L.; Ivanov, R.: *Approaches for reducing the power consumption in embedded systems*. Leden 2012, p-ISSN: 1314-0078, [Online; navštíveno 20.12.2018].
URL http://e-university.tu-sofia.bg/e-publ/files/781_Sozopol_paper_ET2012.pdf
- [3] *Proprietary wireless mesh network CuddeLink*. Cuddeback Inc., 2016, [Online; navštíveno 26.11.2018].
URL <https://www.cuddeback.com/Updates/CuddeLink.pdf>
- [4] Ellwood, S.: *A Guide to Common Trail Camera Features*. Stow Agricultural Ltd. trading as Wildcare, Listopad 2017, [Online; navštíveno 6.12.2018].
URL <https://www.wildcare.co.uk/blog/a-guide-to-common-trail-camera-features>
- [5] *GSM Network Architecture*. Electronics Notes, [Online; navštíveno 28.11.2018].
URL <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/2g-gsm/network-architecture.php>
- [6] *ESP-IDF Programming Guide*. Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd., [Online; navštíveno 10.1.2019].
URL <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/>
- [7] *Global system for mobile communication overview*. The European Telecommunications Standards Institute, [Online; navštíveno 28.11.2018].
URL <https://www.etsi.org/technologies/mobile/2g>
- [8] Flores, S.: *A Guide to Trail Camera Features*. DeerLab, [Online; navštíveno 6.12.2018].
URL <https://deerlab.com/blog/trail-camera-feature-guide>
- [9] Fowler, M.: *The Doppler Effect*. University of Virginia, [Online; navštíveno 17.11.2018].
URL <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/152.mf1i.spring02/DopplerEffect.htm>
- [10] Fraden, J.: *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. Springer New York, 2010, ISBN 9781441964663, 247-271 s.

- [11] Fürstová, J.: *Všeobecné oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pro širokopásmový přenos dat v pásmech 2,4 GHz až 66 GHz*. Rada Českého telekomunikačního úřadu, Zář 2010, [Online; navštíveno 25.11.2018].
URL https://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2010/vo-r_12-09_2010-12.pdf
- [12] *IEC 60529, Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*. International Electrotechnical Commission, Srpen 2013, [Online; navštíveno 14.12.2018].
URL <https://webstore.iec.ch/publication/2452>
- [13] Jurio, A.; Pagola, M.; Mesiar, R.; aj.: Image Magnification Using Interval Information. *IEEE Transactions on Image Processing*, ročník 20, č. 11, Nov 2011: s. 3112–3123, ISSN 1057-7149, doi:10.1109/TIP.2011.2158227.
- [14] Karlik, B.: Comparison of image compression techniques. Květen 2015, doi:10.13140/RG.2.2.24659.37929.
- [15] Koniček, T.: *Fotopasti jako nová forma ochrany majetku v obcích*. Odbor prevence kriminality, Ministerstvo vnitra České republiky, [Online; navštíveno 30.11.2018].
URL <https://www.mvcr.cz/clanek/fotopasti-jako-nova-forma-ochrany-majetku-v-obcich.aspx>
- [16] Kristaly, D. M.; Ungureanu, D.; Moraru, S.-A.: *Motion detection and surveillance*. Automatics Department University of Brasov, Zář 2006, [Online; navštíveno 20.11.2018].
URL https://www.academia.edu/26399638/Motion_Detection_and_Surveillance
- [17] Kubo, H.; Mori, T.; Sato, T.: *Detection and measurement of human motion and respiration*. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Říjen 2010, [Online; navštíveno 19.11.2018].
URL http://vigir.missouri.edu/~gdesouza/Research/Conference_CDs/IEEE_IROS_2010/data/papers/1684.pdf
- [18] Pandit, R.; Khosla, N.; Singh, G.; aj.: Image Compression and Quality Factor in case of JPEG Image format. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, ročník 2, č. 7, Červenec 2013, ISSN 2319-5940.
URL <https://pdfs.semanticscholar.org/403e/140464327922af0ccad357d55e2caca63e00.pdf>
- [19] *Difference between JPEG and PNG, GIF, BMP, TIFF, RAW*. Fixthephoto, [Online; navštíveno 22.12.2018].
URL <http://fixthephoto.com/tech-tips/difference-between-jpeg-and-png.html>
- [20] Roshan, P.; Leary, J.: *802.11 Wireless LAN Fundamentals*. Cisco Press fundamentals series, Cisco Press, 2004, ISBN 9781587050770.
- [21] Rovero, F.; Zimmermann, F.; Berzi, D.; aj.: Which camera trap type and how many do I need? *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, ročník 24, č. 2, 2013: s. 148–156, ISSN 0394-1914, doi:10.4404/hystrix-24.2-8789.
URL <http://dx.doi.org/10.4404/hystrix-24.2-8789>

- [22] Sajjad, M.; Khattak, N.; Jafri, N.: Image Magnification Using Adaptive Interpolation by Pixel Level Data-Dependent Geometrical Shapes. *International Journal of Computer Science and Engineering*, ročník 1, č. 2, Leden 2007.
- [23] *Tips for Minimizing Power Consumption in Your Embedded System*. Altium LLC, Duben 2018, [Online; navštíveno 20.12.2018].
URL <https://resources.altium.com/pcb-design-blog/tips-for-minimizing-power-consumption-in-your-embedded-system>
- [24] Silver, S.; Ostro, L.; Marsh, L.; aj.: *The use of camera traps for estimating jaguar Panthera onca abundance and density using capture/recapture analysis*. *Oryx*, ročník 38, Duben 2004: s. 145–154, doi:10.1017/S0030605304000286.
- [25] *Insight Into ESP32 Sleep Modes and Their Power Consumption*. Last Minute Engineers, [Online; navštíveno 25.12.2018].
URL <https://lastminuteengineers.com/esp32-sleep-modes-power-consumption/#esp32-deep-sleep>
- [26] *Cellular trail camera LINK-S-V*. SpyPoint GG TELECOM Ltd., [Online; navštíveno 28.11.2018].
URL <https://www.spypoint.com/EN/products/cellular-trail-camera/product-LINK-S-V.html>
- [27] *User Manual - Solar trail camera*. SpyPoint GG TELECOM Ltd., [Online; navštíveno 11.12.2018].
URL https://www.spypoint.com/manuals/Manual_SOLAR_EN.pdf
- [28] *Reference Manual for STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx advanced Arm-based 32-bit MCUs*. STMicroelectronics, revize 20, [Online; navštíveno 25.12.2018].
URL https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/59/b9/ba/7f/11/af/43/d5/CD00171190.pdf/files/CD00171190.pdf/jcr:content/translations/en.CD00171190.pdf
- [29] Sylvester, C.: *Everything you need to know about SD cards and trail cameras*. Exodusoutdoorgear.com, Duben 2018, [Online; navštíveno 15.4.2019].
URL <https://exodusoutdoorgear.com/blogs/news/trail-camera-sd-cards-technical-info-and-best-practice-guide>
- [30] *Battery consumption test for trail cameras*. TRAILCAMPRO, 2017, [Online; navštíveno 11.12.2018].
URL <https://www.trailcampro.com/pages/battery-consumption-test-for-trail-cameras>
- [31] *Flash range shootout*. TRAILCAMPRO, 2018, [Online; navštíveno 10.12.2018].
URL <https://www.trailcampro.com/pages/flash-range-shootout>
- [32] *Trigger and recovery speed shootout*. TRAILCAMPRO, 2016, [Online; navštíveno 10.12.2018].
URL <https://www.trailcampro.com/pages/trigger-speed-shootout>

- [33] Turbaková, B.: *Metody monitoringu velkých šelem*. 2013, [Online; navštíveno 2.12.2018].
URL <https://is.muni.cz/th/m32s4/>
- [34] *Fotopasti a ochrana osobních údajů*. Úřad pro ochranu osobních údajů, Červenec 2012, [Online; navštíveno 30.11.2018].
URL <https://www.uoou.cz/fotopasti-a-ochrana-osobnich-udaju/d-1574/>
- [35] Wearn, O.; Glover-Kapfer, P.: *Camera-trapping for conservation: a guide to best-practices*. WWF Conservation Technology Series 1, Říjen 2017, doi:10.13140/RG.2.2.23409.17767.
URL https://www.researchgate.net/publication/320402776_Camera-trapping_for_conservation_a_guide_to_best-practices
- [36] White, R.; Downs, T.: *How Digital Photography Works*. How It Works, Que, 2007, ISBN 9780789736307.

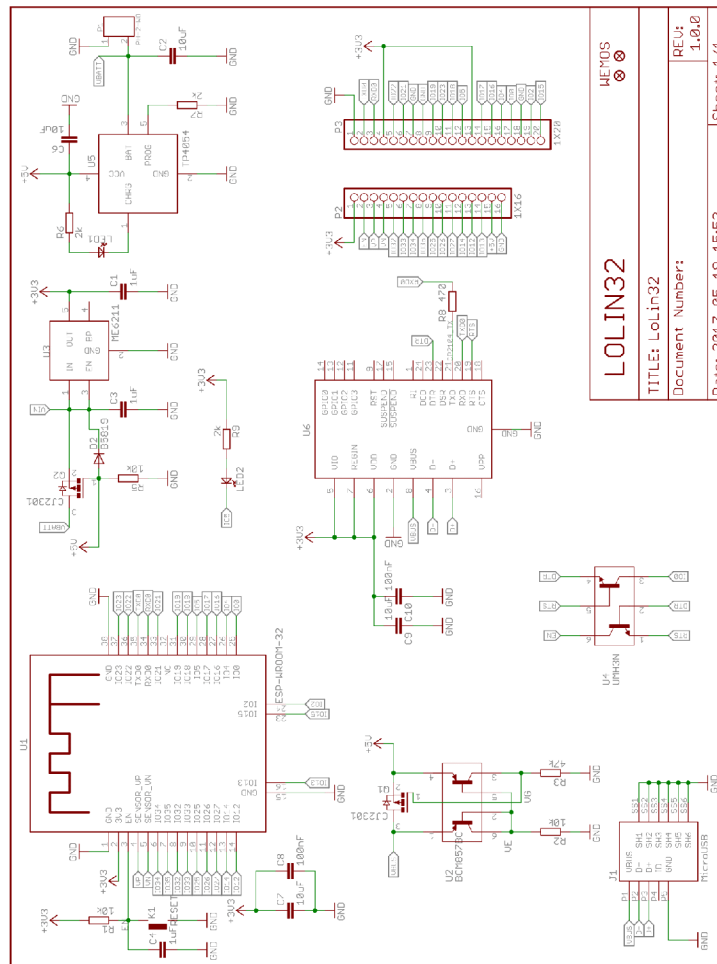
Příloha A

Obsah DVD

- **latex/** - zdrojové kódy výsledné zprávy bakalářské práce
- **src/** - zdrojové soubory firmware prototypu fotopasti
- **src/README.txt** - informace a návod na překlad firmware
- **test_images/** - vybrané testovací fotografie v plném rozlišení
- **video/** - video ukázka webového rozhraní fotopasti
- **xmarek67.pdf** - výsledná zpráva bakalářské práce
- **xmarek67-compressed.pdf** - komprimovaná zpráva kvůli limitu nahrání do informačního systému WIS

Příloha B

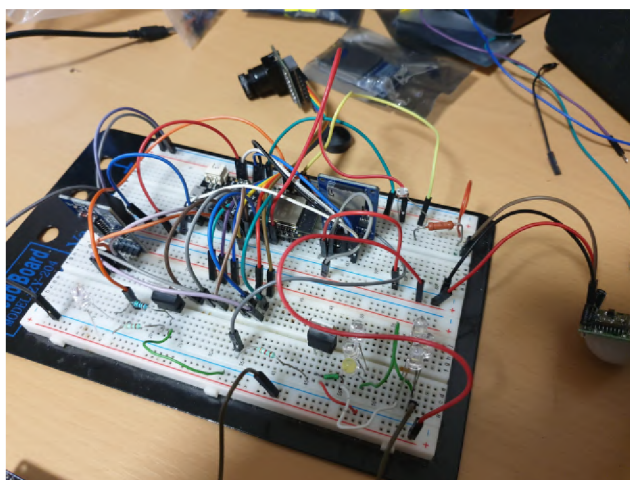
Schéma desky Wemos Lolin32



Obrázek B.1: Schéma vývojové desky Wemos Lolin32 s mikrokontrolérem Espressif ESP32

Příloha C

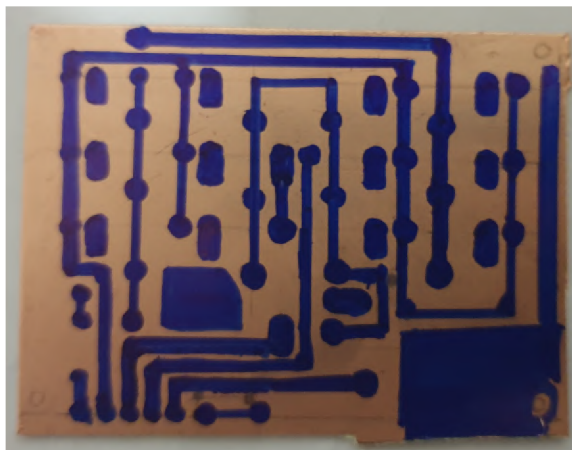
Práce na prototypu



Obrázek C.1: Před trvalým připájením komponent byl prototyp sestaven a testován na nepájivém poli.



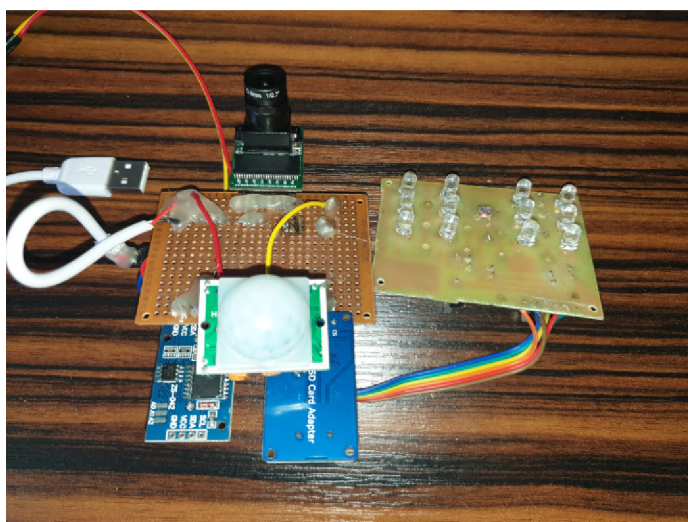
Obrázek C.2: Prototyp sestavený na univerzální desce (bez napájecího obvodu).



Obrázek C.3: Příprava cuprexitové desky přisvětlovacího systému na leptání.



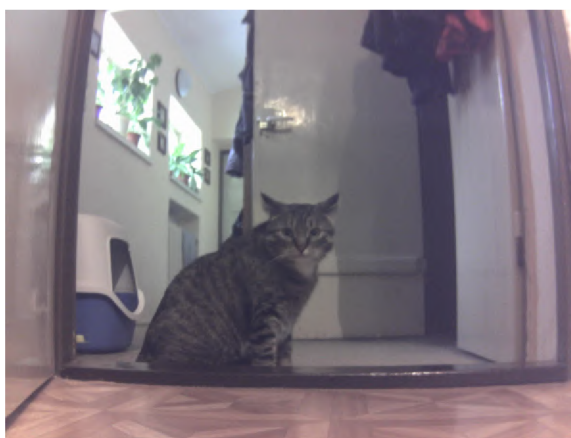
Obrázek C.4: Deska přisvětlovacího systému po vyleptání a osazení.



Obrázek C.5: Finální podoba prototypu s přisvětlovacím systémem.

Příloha D

Testovací data



Obrázek D.1: Testovací snímek č.1



Obrázek D.2: Testovací snímek č.2



Obrázek D.3: Testovací snímek č.3



Obrázek D.4: Testovací snímek č.4



Obrázek D.5: Testovací snímek č.5



Obrázek D.6: Testovací snímek č.6



Obrázek D.7: Testovací snímek č.7



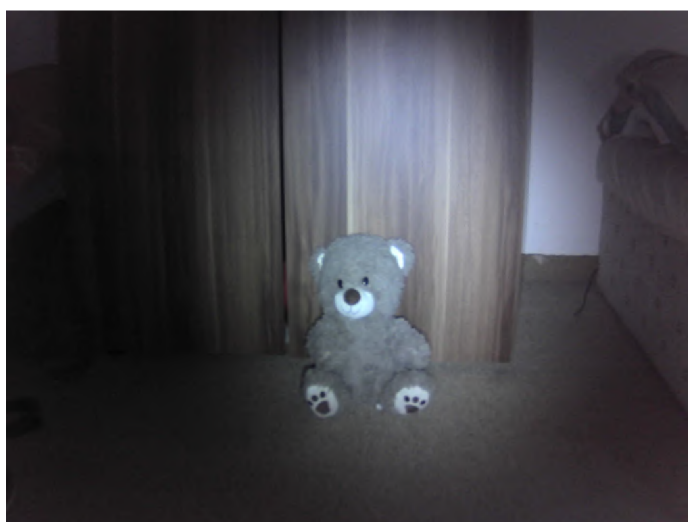
Obrázek D.8: Testovací snímek č.8



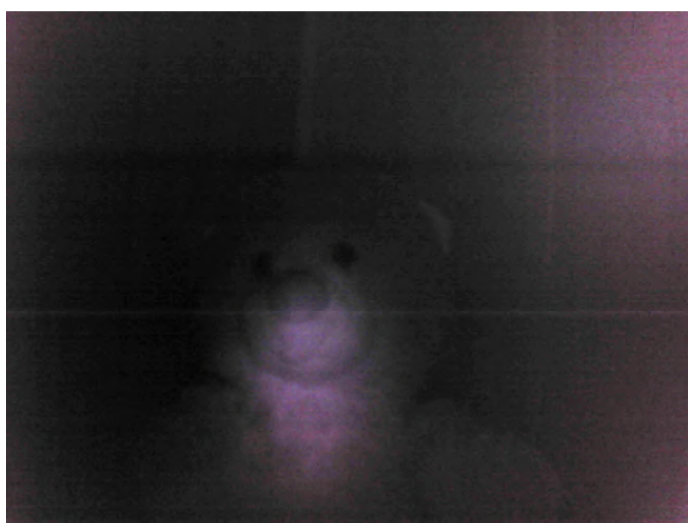
Obrázek D.9: Detail snímku pořízeného kamerou prototypu fotopasti.

Příloha E

Testování přisvětlení



Obrázek E.1: Snímek pořízený při využití viditelného přisvětlení.



Obrázek E.2: Snímek pořízený při využití infračerveného přisvětlení.