



Zadání bakalářské práce

Název:	Kamerové zařízení pro monitorování vzdáleného prostoru pomocí ESP32-CAM a SIM800L modulů
Student:	Adam Staes
Vedoucí:	Ing. Pavel Kubalík, Ph.D.
Studijní program:	Informatika
Obor / specializace:	Počítačové inženýrství
Katedra:	Katedra číslicového návrhu
Platnost zadání:	do konce letního semestru 2023/2024

Pokyny pro vypracování

Prozkoumejte existující řešení.

Navrhnete vlastní zařízení založené na platformě esp32-cam.

Zařízení bude splňovat tyto požadavky:

- pořízení snímku při detekci pohybu na SD kartu,
- se zařízením bude možné komunikovat přes SMS příkazy a síť WIFI,
- zařízení umožní odeslání pořízené fotografie na email přes GPRS GSM síť,
- k určení času pořízení snímku bude řešení obsahovat RTC obvod.

Navržené řešení zrealizujte.

Součástí realizace bude vytvoření plošného spoje a vhodného pouzdra.

Výsledné řešení řádně otestujte.

Bakalářská práce

**KAMEROVÉ ZAŘÍZENÍ
PRO MONITOROVÁNÍ
VZDÁLENÉHO
PROSTORU POMOCÍ
ESP32-CAM A SIM800L
MODULŮ**

Adam Staes

Fakulta informačních technologií
Katedra číslicového návrhu
Vedoucí: Ing. Pavel Kubalík, Ph.D.
11. května 2023

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta informačních technologií

© 2023 Adam Staes. Všechna práva vyhrazena.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí a nad rámec oprávnění uvedených v Prohlášení, je nezbytný souhlas autora.

Odkaz na tuto práci: Staes Adam. *Kamerové zařízení pro monitorování vzdáleného prostoru pomocí ESP32-CAM a SIM800L modulů*. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2023.

Obsah

Poděkování	vi
Prohlášení	vii
Abstrakt	viii
Seznam zkratek	ix
Úvod	1
1 Cíl práce	3
2 Existující řešení	5
2.1 BUNATY FULL HD GSM	5
2.2 SUNTEK HC 801A	5
2.3 4G venkovní kamery	5
2.4 Porovnání existujících řešení s návrhem zařízení	6
3 Analýza	7
3.1 Řídící jednotka	7
3.1.1 Modul ESP32-CAM	7
3.1.2 Problematika ESP32-CAM	8
3.2 Modul bezdrátového připojení k síti	9
3.2.1 Problematika SIM800L	9
3.3 Emailová schránka	10
3.4 SD karta	10
3.5 Komunikační sběrnice	10
3.5.1 UART	10
3.5.2 I ² C	11
3.6 IO expandér	11
3.7 Hodiny reálného času	11
3.8 Senzor pohybu	12
3.9 Napájení	13
3.10 Bateriový měřič	14
3.11 Ladění zařízení	15
4 Návrh řešení	17
4.1 Návrh zapojení modulů	17
4.2 Návrh programu	17
4.3 Vývojové nástroje programu	18
4.4 Návrh plošného spoje	18
4.5 Návrh pouzdra	19

5	Realizace zařízení	21
5.1	Zapojení	21
5.1.1	Modul ESP32-CAM	21
5.1.2	Modul SIM800L	22
5.1.3	Rozšiřovač portů PCF8574	22
5.1.4	Hodiny reálného času PCF8563	23
5.1.5	Bateriový měřič MAX17048	23
5.1.6	Napětové spínače	24
5.1.7	Napájecí obvod	24
5.2	Plošný spoj	24
5.2.1	Návrh plošného spoje	25
5.2.2	Tvorba desky plošného spoje	25
5.3	Tvorba pouzdra	26
5.4	Cena zařízení	26
5.5	Rozšíření	26
6	Realizace programu	29
6.1	Program pro ESP32-CAM	29
6.2	Pořízení snímků	29
6.2.1	Programování ESP32-CAM	29
6.3	Ovládání SIM800L	30
6.3.1	Popis použitých AT příkazů	30
6.4	Konfigurační data	31
6.5	Komunikace s IO expandérem	31
6.6	Komunikace s hodinami reálného času	32
6.7	Knihovna pro bateriový měřič	32
6.8	Ladění programu	32
7	Testování	33
7.1	Testování modulů	33
7.2	Test kamer	33
7.3	Test spotřeby zařízení	34
7.4	Test nabití baterie solárním článkem	38
	Závěr	39
	A Schéma zapojení zařízení	41
	Obsah přiloženého média	45

Seznam obrázků

2.1	BUNATY FULL HD GSM [1]	6
3.1	Modul ESP32-CAM s OV2604 kamerou a SD kartou	8
3.2	Modul SIM800L	9
3.3	IO expandér PCF8574	12
3.4	Modul RTC PCF8563	12
3.5	Modu senzoru pohybu HC-SR501	13
3.6	Nabíječka TP4056	14
3.7	Modul Fuel Gauge MAX17048	15
3.8	Převodník I ² C na USB – FT200XD	15
4.1	Blokové schéma zapojení modulů	18
5.1	Schéma zapojení modulu ESP32-CAM	22
5.2	Schéma zapojení modulu SIM800L	22
5.3	Schéma zapojení PCF8574	23
5.4	Schéma zapojení napájení zařízení	24
5.5	Návrh plošného spoje zařízení vytvořený v EAGLE	25
5.6	Zhotovená deska plošného spoje	26
7.1	Test zařízení v nepájivém poli	34
7.2	Pořízený snímek kamerou se zorným úhlem 68°	35
7.3	Pořízený snímek kamerou se zorným úhlem 120°	35
7.4	Pořízený snímek kamerou se zorným úhlem 160°	36
7.5	Graf porovnání závislosti SoC na uplynulém čase pro zapojení ASM1117 a MP2315	37
7.6	Graf porovnání závislosti napětí baterie na uplynulém čase pro zapojení ASM1117 a MP2315	37
7.7	Graf Soc a napětí baterie v čase při nabíjení ze solárního článku	38
A.1	Schéma zapojení celého zařízení	41

Seznam tabulek

3.1	Adresy I ² C součástek	11
5.1	Vyčíslené ceny součástek	27

Chtěl bych poděkovat především svému vedoucímu práce Ing. Pavlu Kubalíkovi, Ph.D. za veškeré cenné rady a ochotu pomoci. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů, zejména skutečnost, že České vysoké učení technické v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 citovaného zákona.

V Praze dne 11. května 2023

.....

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem a vytvořením kamerového zařízení pro monitorování vzdáleného prostoru za použití ESP32-CAM a SIM800L modulů. V práci se prozkoumají existující řešení a navrhne se řešení vlastní. Výsledkem této práce je zhotovené zařízení, které je schopné detekovat pohyb a pořídit fotografii monitorovaného prostoru. Snímek uloží na SD kartu a pošle jej přes mobilní data na emailovou adresu uživatele. Uživatel může ovládat zařízení příkazy přes SMS. Pro zařízení je navrhnut plošný spoj a 3D tisknutelné pouzdro.

Klíčová slova monitorování vzdáleného prostoru, ESP32-CAM, SIM800L, RTC, SD karta, GSM, SMS, WiFi, GPRS, email, nízká spotřeba, návrh plošného spoje

Abstract

The bachelor thesis deals with the design and creation of a camera device for remote space monitoring using ESP32-CAM and SIM800L modules. Existing solutions are explored in the work and a custom solution is proposed. The result of this work is a device capable of detecting motion and taking a picture of the monitored space. The image is stored on an SD card and sent via mobile data to the user's email address. The user can control the device with commands via SMS. A printed circuit board and a 3D printable enclosure are designed for the device.

Keywords remote space monitoring, ESP32-CAM, SIM800L, RTC, SD card, GSM, SMS, WiFi, GPRS, email, low power, circuit board design

Seznam zkratek

GPIO	General-purpose input/output
GRPS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
I ² C	Inter-Integrated Circuit
IO	input/output
PSRAM	Pseudostatic random-access memory
RTC	Real time clock
SIM	Subscriber Identification Module
SMS	Short message service
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SSL	Secure sockets layer
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter

Úvod

V dnešní době je stále větší zájem o zabezpečení domovů, pozemků a osobního majetku. Proto se stává prioritou vlastnit systém pro monitorování majetkových objektů v případě osobní nepřítomnosti. Bezpečnostní kamery se staly jedním z nejlepších řešení, ale často jsou velmi drahé a vyžadují stabilní internetové připojení k domácí síti a trvalé napájení externím zdrojem. Tyto kamery využívají také aplikace, které jsou závislé na podpoře výrobce a často není možné je jakkoli upravit nebo přeprogramovat.

Tato práce se zabývá návrhem a vývojem nákladově efektivního a účinného řešení pro vzdálené monitorování prostoru. Pro řešení existuje mnoho modulů a levných kitů na tvorbu vlastních kamerových zařízení, ale většina z nich komunikuje pouze přes domácí bezdrátové sítě, jako je WiFi, které nejsou dostupné ve vzdálených oblastech. Proto je tato práce zaměřena na vytvoření zařízení, které umožní monitorovat prostor i bez nutnosti připojení k domácí bezdrátové síti a má co nejmenší spotřebu, aby nemuselo být závislé na externím napájení. Pro tvorbu zařízení se v práci budou používat moduly ESP32-CAM a SIM800L, které jsou volně dostupné v internetových i kamenných obchodech s elektronikou. Výsledné zařízení bude osazené na plošném spoji, který bude součástí návrhu práce. Práce není zaměřená na samotnou bezpečnost zařízení proti útokům a zabezpečení osobních dat.

Práce je rozdělena na část teoretickou (kapitoly Existující řešení, Analýza a Návrh řešení) a část praktickou (kapitoly Realizace zařízení, Realizace programu a Testování). Teoretická část se bude věnovat prozkoumání již existujících řešení monitorování vzdáleného prostoru, nalezením vhodných součástek a návrhu struktury zařízení. V praktické části bude realizováno zařízení na základě poznatků z analýzy a návrhu, bude vytvořen řídicí program a zařízení bude otestováno.

Výsledek práce bude zajímavý pro ty, kteří se chtějí dozvědět více o možnostech implementace kamerových zařízení pro vzdálené monitorování, a pro ty, kteří by si chtěli podobné zařízení sami vytvořit a případně doplnit o vlastní nápady.



Kapitola 1

Cíl práce

Cílem práce je navrhnout a zrealizovat zařízení schopné monitorovat prostor a vzdáleně přijímat a odesílat data uživateli. Zařízení bude založeno na platformě ESP32, přesněji na modulu ESP32-CAM. Modul disponující kamerou a čtečkou SD karet bude schopný pořídit obraz monitorovaného prostoru a následně jej lokálně uložit. Pro bezdrátovou komunikaci přes mobilní síť bude využito modulu SIM800L. Zařízení pomocí SIM800L modulu bude schopné přijímat jednoduché příkazy od uživatele pomocí SMS zpráv a pořízená obrazová data posílat přes 2G síť a SMTP do emailových schránek uživatelů. Zařízení bude schopné pracovat i bez zapojení do externího napájení. Náplní práce je také vytvořit obslužný program a navrhnout plošný spoj společně s vhodným pouzdem pro zařízení.

Cílem kapitoly Existující řešení je prozkoumat již existující řešení, odhalit jejich silné a slabé stránky a uvést, v čem se navržené zařízení bude shodovat a lišit.

Cílem kapitoly Analýza je nalézt a zhodnotit použité technologie součástek a diskutovat problémy, které bude nutné v implementaci vyřešit.

Cílem kapitoly Návrh řešení je ustanovit, jak budou jednotlivé jednotky spolu komunikovat a navrhnout zapojení jednotek. Dále budou zvolené nástroje pro vývoj programu a návrh plošného spoje.

Cílem kapitoly Realizace zařízení je zapojení všech komponentů zařízení do funkčního celku a vytvoření plošného spoje a pouzdra zařízení.

Cílem kapitoly Realizace programu je popsat rozložení a vlastnosti řídicího programu a použitých knihoven.

Cílem kapitoly Testování je popsat prováděné testy při vývoji a diskutovat jejich výsledky.

Kapitola 2

Existující řešení

Pro návrh zařízení je přínosné prozkoumat existující řešení pro monitorování vzdáleného prostoru. Tím se bude zabývat následující kapitola, bude vybráno několik zařízení a na nich se rozeberou technologie, které používají k pořizování snímků a komunikaci s uživatelem.

2.1 BUNATY FULL HD GSM

Fotopast disponuje kamerou s rozlišením 24Mpx, zorným polem 52° a je schopná pořídít snímky i za tmy pomocí IR přisvícení. Po aktivaci pohybového čidla dokáže zařízení nahrát krátké video, které je uloženo na sd kartu. Pořízené snímky pomocí GSM sítě odešle uživateli přes email nebo MMS. Možností je i nastavit, v jaké době má být fotopast aktivní. Celé zařízení je zapouzdřeno v pevné a nepromokavé kovové krabici. Uvnitř se nachází i malý displej pro nastavení záběru. Zařízení je napájeno z osmi AA tužkových baterií, není však uvedeno, jak dlouho fotopast vydrží do vybití. Dle recenzí vydrží při střídavém požívání i několik týdnů. Výrobce nikde neuvádí, že by bylo možné fotopast ovládat dálkově, tedy komunikace je jen jednosměrná. Cena fotopasti se pohybuje kolem 8000,- Kč. [1]

2.2 SUNTEK HC 801A

Další fotopast, která se velmi podobá fotopasti BUNATY. Zásadním rozdílem je absence GSM funkce, zařízení umí pořízené snímky ukládat pouze lokálně, nedisponuje bezdrátovým připojením. Cenově je však mnohem dostupnější, fotopast je možné pořídít od 2000,- Kč. [2]

2.3 4G venkovní kamery

V tomto porovnání se nebude nijak blíže specifikovat model nebo značka. Důvodem je fakt, že se na trhu vyskytuje mnoho modelů, které jsou identické jak ve svém vzhledu, tak i ve funkcionalitě. Navíc značky, většinou asijského znění, pod kterými se kamery prodávají, jsou neznámé a pravděpodobně se jedná jen o "re-branding" toho samého kamerového systému.

Klíčové vlastnosti těchto kamer jsou pořizování snímku a videa ve vysoké kvalitě full hd, které ukládají na lokální úložiště SD karty. Pro noční vidění mají přisvitit infra červených led. Zorné pole kamer se pohybují okolo 90°, dají se však ovládat/otáčet dálkovým ovládním přes aplikaci. Napájení je zajištěno vysokokapacitní baterií, která se dobíjí solárním článkem. Protože se jedná o venkovní kamery, jsou plně vodotěsné a mají držák, který je možné přimontovat na



■ Obrázek 2.1 BUNATY FULL HD GSM [1]

zed. Pro komunikaci používají mobilní 4G LTE síť, přes kterou dokáží kamery informovat o pohybu v prostoru zaznamenaný PIR senzorem. Kamery je možné ovládat pomocí počítače a nebo aplikací pro chytré telefony. V aplikacích je možné sledovat přímý přenos, otáčet kamerou nebo mluvit a poslouchat přes vestavěný audio systém, některé kamery dokonce poskytují integraci s hlasovými asistenty jako jsou Amazon Alexa, Apple Siri nebo Google Assistant. Nevýhodou je, že do budoucna nemusí být aplikace podporovány, nebo nemusí být dostupné cloud platformy, přes které jsou řešeny komunikace mezi aplikací a kamerou. Ceny těchto kamer se pohybují okolo 5000,- Kč.

2.4 Porovnání existujících řešení s návrhem zařízení

Aby se zařízení mohlo vyrovnat konkurenci, mělo by umět pořizovat snímky aspoň ve full hd kvalitě, dále mít vlastní úložiště pro ukládání pořízených snímků a disponovat možností bezdrátově odesílat data uživateli. Protože se řešení zaměřuje hlavně na vzdálené prostory, kde nemusí být dostupné napájení z elektrické sítě, je nutné zajistit možnost alternativních způsobů napájení a nebýt na nich závislý i po dobu několika týdnů. Zařízení by mělo být jednoduché nastavit, například pomocí mobilního telefonu nebo počítače, nejlépe bezdrátově. Největší zaměření zařízení bude na výslednou cenu, která je u konkurence poměrně vysoká. Oproti existujícím řešení nebude navrhované zařízení podporovat záznam videa a nebude využívat rychlejší síť 4G LTE.

Kapitola 3

Analýza

Kapitola se zabývá analýzou a výběrem vhodných modulů a součástek pro sestavení kamerového zařízení. Výběr součástek bude na základě požadavků zařízení. Vybrané díly budou implementovány v návrhu výsledného řešení. Dále jsou v kapitole popsány technologie pro komunikaci mezi jednotlivými moduly.

3.1 Řídící jednotka

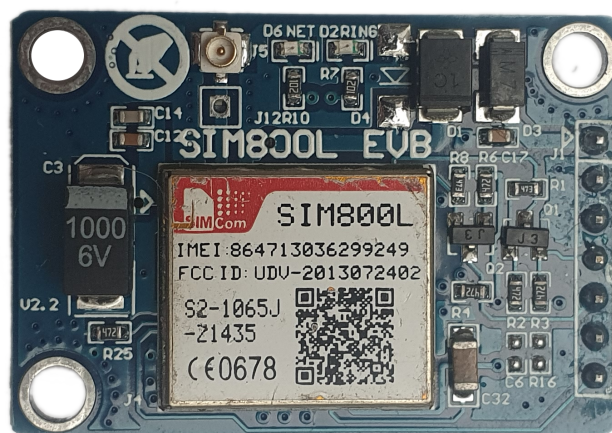
Řídící jednotka ovládá celé zařízení, tedy jednotlivé moduly a zpracovává uživatelský vstup. Při výběru řídicí jednotky se zvažovalo o použití Raspberry pi. Tento mini počítač disponuje vysokým výkonem, který umožňuje pořizovat a zpracovávat fotky, ale i videa ve vysokém rozlišení. Avšak v době psaní práce a i delší dobu předtím, jsou Raspberry pi desky beznadějně vyprodané a jediná možnost jak je zakoupit je od přeprodejců za mnohonásobně vyšší cenu. Další zvažovanou možností byly desky Arduino. Výhodou je, že autor práce se s nimi již v minulosti setkal a má s nimi již nějaké zkušenosti. Jejich výkon se však po několika experimentech ukázal být nedostatečný pro zpracování obrazu ve velkém rozlišení.

S odpovědí přichází platforma ESP32, vyvíjena firmou Espressif. Jedná se o MCU, zkratka pro jednočipový počítač, bohatě vybavený různými funkcemi, jako jsou například bezdrátové připojení WiFi nebo Bluetooth. Moduly bývají vybaveny již vším potřebným a tak není třeba přidávat další komponenty, aby mohli fungovat. Jejich design je také zaměřený na nízkou spotřebu, což je přívětivé pro implementaci do monitorujícího zařízení. Jednotlivé MCU jsou nabízeny v různých variantách jako systém na čipu, moduly nebo jako takzvané devkits, což je modul určen pro vývojáře zařízení, který má extra vývody nebo i speciální obvody pro ladění programu. [3]

3.1.1 Modul ESP32-CAM

Pro tento projekt byl zvolen modul ESP32-CAM od firmy Ai-Thinker. I když se na trhu nachází i jiné moduly ESP32, které mají kameru, většinou ale nedisponují žádnými dalšími piny a nebo obsahují součástky, které jsou pro projekt zbytečné a navyšují jejich cenu, například displej.

Modul ESP32-CAM je osazen dvoujádrovým ESP32-S čipem, který má vestavěné 2.4 GHz Wifi a Bluetooth. Jedná se o 32-bitovou architekturu, kdy každé jádro má nastavitelnou hodinovou frekvenci od 80 MHz až do 240 MHz. Zároveň má modul slot pro modul kamery OV2640, do slotu lze osadit různé variace OV2640 kamery, například různých pozorovacích úhlů nebo s absencí filtru infračerveného světla pro noční vidění. Kamera má rozlišení až 2Mpx, maximálně tedy 1600x1200px. Do slotu je možné vložit i jiné kamery, ale je třeba se ujistit, že mají stejné vývody pinů. Pro pořizování snímků disponuje ESP32-CAM 4MB PSRAM a 520KB SRAM. Je



■ Obrázek 3.2 Modul SIM800L

3.2 Modul bezdrátového připojení k síti

Zařízení musí být schopné komunikovat s uživatelem, přesněji být schopné na dálku odesílat pořízené obrázky a přijímat jednoduché příkazy. Esp32 modul disponuje možností připojit se k internetu pomocí WiFi, avšak nutnost zařízení býti v blízkosti nějakého WiFi access pointu je velmi omezující. Jako alternativou se nabízí GSM síť, přes kterou lze s uživatelem komunikovat pomocí SMS zpráv a data posílat přes GPRS. Zařízení bude pracovat s druhou generací GSM, zkratka 2G. Jedná se o spolehlivou síť, která se v průmyslu často využívá pro jednoduché aplikace, které vyžadují vzdálenou komunikaci, ale také se stále využívá pro telefonní hovory. V poslední době se však od 2G pomalu ustupuje a v některých zemích již není podporována. V České republice je zatím podpora zajištěna do roku 2028 [8].

Výběr GSM modulů není zrovna největší, pro účely tohoto zařízení bude použit modul s čipem SIM800L. V obchodech je modul často označován jako SIM800L V2.0, přičemž na desce je označen jako SIM800L EVB. Modul je napájen 5V a podporuje GSM 2G a také již v ČR nedostupný 3G. Dále disponuje sériovým portem s automatickým baud rate laděním a logickým převodníkem úrovní, pro zařízení bude použito 3,3V. Modul je možné ovládat pomocí široké škály AT příkazů. Je možné posílat SMS a MMS, telefonovat (samotný čip má piny na mikrofon a reproduktor, tento modul je však nemá vyvedené), zasílat email s přílohou, zjistit čas a také podporuje TCP, UDP, FTP, HTTP protokoly. Na modul je možné přidat vlastní anténu podle potřeby. Pro připojení se k síti operátorů je třeba vložit mikro SIM kartu s podporou 2G.

Pro připojení do sítě bude použita SIM karta Oskarta od operátora Vodafone. Dobíjecí karta má tarif, který si účtuje za připojení dat k síti dle spotřeby. Vzhledem k tomu, že odesílání obrázků nespotřebuje mnoho dat, jeví se toto jako optimální řešení. Cena za 1 MB dat je 1,- Kč.

3.2.1 Problematika SIM800L

Důležité je zmínit, že při tvorbě zařízení se autor setkal s dvěma moduly SIM800L. Modul nepoužitý v práci má vyvedených 16 pinů a vyznačuje se červenou barvou desky. Tento modul se na první pohled liší napájecím napětím v rozmezí 3,7-4,2V a dodatečnými vývody na reproduktor, mikrofon a signál přerušení. Jinak působí identicky a i na různých stránkách a obchodech se uvádí

stejně vlastnosti. Původně měl být použit v zařízení tento modul, pro možnost vyvolání přerušení na výstupu v případě příchozí SMS zprávy. Ale při testování modulu se nepodařilo zprovoznit připojení k internetu. Přesněji chyběla podpora SSL pro připojení k SMTP. Ukázalo se, že na různých diskuzních fórech se nachází spousta nezodpovězených vláken se stejnou problematikou.

Při delším zkoumání a testování se došlo k závěru, že čipy na modulech se stejným názvem, jsou hardwarově rozdílné. Po spuštění AT příkazu "AT+GMR" lze zjistit nahraný firmware modulů. Pro modul použitý v práci (SIM800L V2.0) je verze 1418B04SIM800L24, pro druhý modul je verze 1309B10SIM800L16. Na stránkách výrobce čipu (SIMCOM) nejsou dostupné informace o jednotlivých verzích. Na internetu jsou dostupné nástroje k aktualizování firmwaru a také jednotlivé zdrojové soubory verzí. Po pokusu aktualizace z verze 1309B10SIM800L16 na 1418B04SIM800L24 nástroj oznámil, že se čip na modulu neshoduje s požadovaným čipem pro nahrávání firmware. Odhad autora je, že poslední dvojčíslí značí bitovou architekturu.

3.3 Emailová schránka

Aby bylo možné posílat emaily z modulu SIM800L, je třeba, aby emailová schránka podporovala SMTP a SSL. Pro odeslání emailu tedy potřebuje modul přihlašovací údaje k účtu emailu, proto je silně doporučeno nepoužít vlastní emailovou adresu, ale pro účely zařízení si vytvořit nový účet. Je však nutné dbát na to, aby emailový klient neměl nějakou formu dvoufázové ověření.

Jednou možností je využít emailové služby Gmail od Google. Vytvoření nové adresy je bezplatné a i když Gmail vyžaduje dvoufázové ověření, je možné si vytvořit k účtu speciální přístup, který má vlastní vygenerované heslo. Službu lze nastavit v nastavení Google účtu v sekci Zabezpečení (Security) a přihlášení do Googlu (Signing in to Google) pod položkou Hesla aplikací (App passwords).

3.4 SD karta

K lokálnímu ukládání dat je možné využít slotu mikro SD karty na modulu ESP32-CAM. Protože modul nemá dostatek volných pinů, je třeba použít SD kartu v 1-line MMC připojení. Tím se sice sníží přenosová rychlost, zato se však uvolní tři piny (GPIO 4, 12 a 13), které jsou velice žádané pro připojení dalších periférií. Je nutné podotknout, že jednotlivé piny, které jsou vyvedené do slotu, mají pull-up rezistory a v případě GPIO 13 je třeba, aby v době inicializace karty byl stav HIGH. Některé karty s vyšší pamětí (nad 32 GB) nemusí s modulem správně fungovat.

3.5 Komunikační sběrnice

Jednotlivé součástky ve výsledném zařízení musí být schopné komunikovat s hlavní řídicí jednotkou přes komunikační sběrnice. Pro práci byly zvoleny dva druhy komunikačních sběrnic, UART a I²C.

3.5.1 UART

V práci je sériová linka UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) použita pro komunikaci mezi GSM modulem a ESP32-CAM, ale také k nahrání programu do samotného ESP32-CAM.

UART je integrovaný obvod, který řídí komunikaci mezi sériovou linkou a zařízením. UART se skládá ze tří základních komponentů: vysílače, přijímače a generátoru baud rate (modulační rychlosti). Jednotlivé moduly jsou propojeny jen dvěma signálními linkami a společnou zemí. Vyvedená linka ze zařízení označena RxD je pro příjem dat a označení TxD je pro odeslaná data. Pro funkční zapojení je třeba zapojit linky jednotlivých zařízení křížově. UART přijímá ze

■ **Tabulka 3.1** Adresy I²C součástek

Součástka	I ² C adresa
PCF8574	0x20
PCF8563	0x51
MAX17048	0x36
FT200XD	0x22

zařízení data po bytech, které jsou uloženy ve vyrovnávací paměti a pak je po bitech vyšle po sériové lince. Každá taková zpráva musí začínat start bitem a končit stop bitem. Přijatá bitová data jsou převedena na byte data a poslána do vyrovnávací paměti zařízení. Protože UART je asynchronní, nemají zařízení společný hodinový signál. Je důležité, aby zařízení na obou koncích měla nastavený stejný baud rate. Některé lepší zařízení mají možnost "autobauding", například SIM800L, které dokáží detekovat a nastavit baud rate automaticky. V práci se bude používat baud rate o rychlosti 115200 bps. [9]

3.5.2 I²C

Protože má modul ESP32-CAM nedostatek volných pinů, je optimálním řešením požití sběrnice I²C.

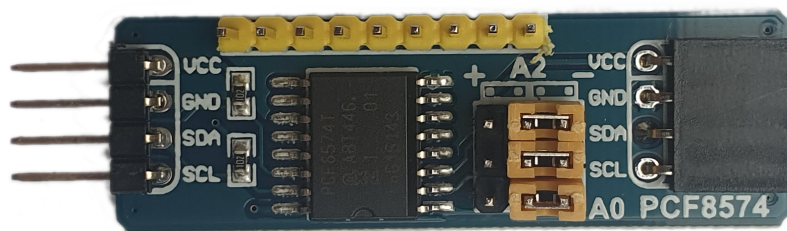
I²C (Inter-Integrated Circuit) byla vyvinuta firmou Philips a jedná se o chráněnou značku, proto je někdy také označovaná jako TWI (Two Wire Interface). Jedná se o synchronní sériovou sběrnici sloužící pro připojení nízko rychlostních periférií k řídicí jednotce. Výhodné je právě zapojení, stačí pouze dva signálové vodiče, jeden hodinový SCL a jeden datový SDA a společnou zem. Připojená zařízení jsou navržena jako otevřený kolektor a je třeba na SDA a SCL linky přidat pull-up rezistory, aby v klidovém stavu byla logická 1. Jedná se o master/slave komunikaci, řídicí zařízení(master) zahajuje a ukončuje komunikaci a generuje hodinový signál, řízené zařízení(slave) má vlastní osmi bitovou adresu (je buď pevně daná a nebo se dá nastavit), která je použita při komunikaci. Nejnižší bit adresy je použit pro rozlišení, zda se jedná o zápis do nebo čtení z adresovaného zařízení. Tedy pro adresování zbyde 7 bitů a na jednu linku tak lze zapojit maximálně 128 řízených zařízení. V tabulce 3.1 je výpis adres všech použitých součástek s I²C rozhraním. V práci bude použita pro sběrnici základní přenosová rychlost 100 kHz. [10]

3.6 IO expandér

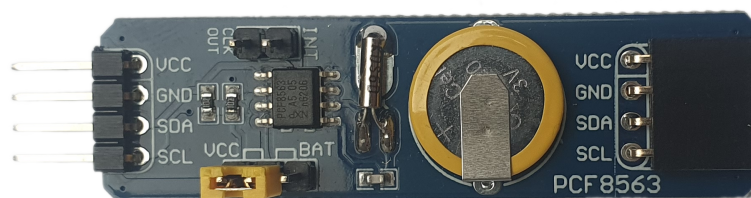
Jako řešení problému nedostatku volných pinů se nabízí možnost přidání modulu rozšiřující vstupně/výstupní piny. Jedním takovým modulem je PCF8574 I²C 8bit I/O Expandér, který poskytuje osm vstupně/výstupních pinů a je možné je ovládat přes sběrnici I²C. Také má nastavitelnou adresu, takže jich lze na jednu sběrnici připojit více. Expandér má navíc interrupt pin, který generuje přerušování při změně stavu některého z pinů. Pro použití pinů jako vstup, je třeba nastavit výstup na logickou jedničku. Při spuštění jsou všechny piny nastavené na logickou jedničku. Pro testovací účely bude použit modul od firmy Waveshare, ale ve výsledném zařízení se použije pouze samostatný integrovaný obvod PCF8574N v obalu DIP16.

3.7 Hodiny reálného času

K pořizování snímků by bylo účelné si pamatovat čas jejich pořízení. V emailu by se dalo zobrazit čas zaslání a od toho odvodit přibližný čas pořízení, ale na lokálním úložišti by se obrázky ukládaly jen jako rostoucí číslo a bylo by těžké identifikovat, kdy byly pořízeny. ESP32-CAM má v sobě jedny hodiny, ale ty slouží primárně jako časovač pro přerušování a mají malou dlouhodobou



■ Obrázek 3.3 IO expandér PCF8574



■ Obrázek 3.4 Modul RTC PCF8563

přesnost. Bylo by možné napsat program, který by počítal čas a pamatoval by si jej, ale v případě výpadku proudu by byl údaj ztracen. Pomocí AT příkazů lze přes modul SIM800L získat přesný čas od síťového operátora, ale kvůli velké spotřebě a pomalé odezvě modulu je lepší použít tuto funkci jen jako kalibrační jednou za delší dobu.

Pro zařízení byl vybrán RTC modul PCF8563 firmy Waveshare. Hlavní důvod výběru právě tohoto integrovaného obvodu je komunikační rozhraní přes I²C, ostatní dostupné RTC moduly běžně používají SPI. RTC modul má vlastní napájení z 3,3 V baterie, tudíž při výpadku proudu zařízení si RTC modul stále bude pamatovat a měřit aktuální čas. RTC modul dokáže měřit čas v sekundách, minutách, hodinách, dnech, dnech v týdnu, měsících a letech (rozsah je omezen na 199 let od "nultého" roku). Kalendářní systém v modulu podporuje i přestupné roky. Další skvělou funkcí RTC modulu je signalizační výstup zařízení, kterým je možné upozornit řídicí jednotku na časovou událost. Pro nastavení časové události lze použít budík nebo časovač. Do budíku je možné nahrát časový údaj, který když nastane, vyvolá signál přerušení. V časovači lze nastavit 8-bitovou hodnotu odpočtu a jeho rychlost jakým se bude odpočítávat. Například při nastavení nejmenší rychlosti 1/60 Hz a maximální hodnoty odpočtu 255, bude časovač signalizovat přerušení po 255 minutách. [11]

3.8 Senzor pohybu

Není třeba, aby zařízení monitorovalo prostor neustále, ale jen když se něco v prostoru uděje. K tomu slouží senzory pohybu, které dokáží na určitou vzdálenost zaznamenat pohyb a oznámit ho řídicí jednotce signálem. Existují různé druhy čidel, které detekují pohyb, například mikrovlnný doppler radar, ultrazvukový měřič vzdálenosti a nebo PIR čidlo. Právě poslední zmíněné čidlo bude použito v zařízení a to přesněji modul PIR detektor pohybu HC-SR501. PIR - pasivní



■ **Obrázek 3.5** Modu senzoru pohybu HC-SR501

infračervené čidlo obsahuje elektromagnetické čidlo měřící infračervené záření ve svém zorném poli a reagující na změny. Čidlo se běžně používá v kamerových systémech, ale také ve venkovním osvětlení. Nevýhodou PIR je, že při vysokých teplotách je citlivost detekce menší, protože okolí dosahuje stejných teplot jako lidské tělo. Stejně tak v zimě, kdy se lidé oblékají do tlustého oblečení, které zamezuje vyzařování infračerveného záření.

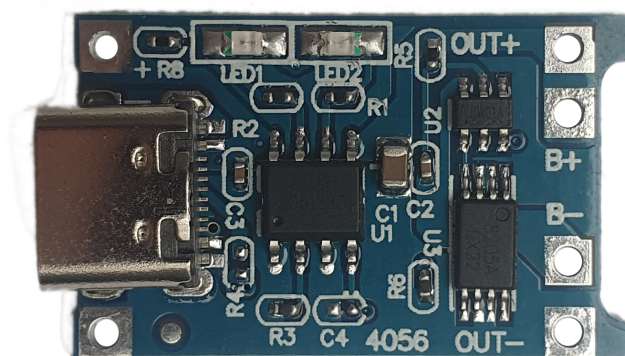
Modul HC-SR501 má jedno čidlo skryté za Fresnelovo čočkou, která soustředí okolní záření do čidla. Čidlo je nejcitlivější na horizontální pohyb, tedy je dobré nasměrovat zařízení tak, aby se případný pohyb odehrával po horizontální ose zorného pole. Modul lze napájet 5V až 12V. Dosah detekce činní přibližně 7 metrů při zorném poli až 120°. Při detekci pohybu nastaví na výstupním pinu hodnotu HIGH (3,3V). Pomocí dvou proměnných odporů je možné nastavit citlivost (vzdálenost) a délku sepnutí výstupu. Také je možné, nastavit zda se délka sepnutí obnoví každou novou detekcí a nebo jsou další detekce ignorovány, dokud nedojde k sestupné hraně na výstupu. Při spuštění modulu trvá přibližně minutu, než je modul plně inicializovaný a v té době několikrát sepne signál na výstupu, i když nemuselo dojít k pohybu. Modul má nízkou spotřebu a je cenově velmi dostupný.

3.9 Napájení

Předpokládá se, že zařízení nalezne užití ve vzdálených lokacích, je příhodné, aby bylo funkční při výpadku proudu nebo ještě lépe, aby bylo co se týče napájení úplně soběstačné po dostatečně dlouhou dobu. Přidání článku baterie s možností opakovatelného nabíjení se jeví jako dobré řešení a proto bude do výsledného řešení implementováno.

Baterie 18650 je lithium-iontový dobíjecí bateriový článek s pracovním napětím od 2,8 V do 4,2 V. Vybraný článek do zařízení má kapacitu 2600 mAh a pro větší výdrž budou použity dva články zapojené paralelně pro kombinovanou kapacitu 5200 mAh. Články mají označení 5C Doublepow, tedy jejich maximální nárazový proud činí 12500 mA, což je víc, než bude obvod zařízení potřebovat. Baterie nemá žádnou ochranu a proto je vhodné použít ochranný modul, který chrání článek proti zkratu, přebití, vybití a před přetížením.

Pro nabíjení baterie je použita USB-C nabíječka li-ion článku TP4056 s ochranou, které baterii chrání proti přebití, podvybití a zkratu. Modul však nepodporuje "power-load-sharing", i když se tak může zdát, protože modul má vývod jak pro baterii tak pro externí obvod. Z dokumentace TP4056 [12] však plyne, že nabíjecí cyklus baterie se ukončí v případě, že nabíjecí proud klesne pod jednu desetinu z nastavené hodnoty (pomocí rezistoru), poté co dosáhne hladiny nabíjecího napětí 4,2 V. V případě zapojení jenom baterie není třeba nic víc řešit, ale odebírá-li externí obvod proud, nikdy nedojde k ukončení nabíjecího cyklu. Protože li-ion baterie nemají ochranu přebití, dojde k závažnému poškození článku. K odstranění tohoto problému se používá "power-path" obvod, který v případě zapojení usb napájení, přepne zdroj externího obvodu z baterie



■ **Obrázek 3.6** Nabíječka TP4056

na usb vstup. Dosáhne toho pomocí Schottkyho diody a P-MOSFET. V případě realizovaného zařízení tento problém není nutné řešit, protože v režimu spánku, ve kterém se po většině času bude zařízení vyskytovat, má spotřebu rozhodně nižší než desetina nastavené hodnoty, což by mělo být 100 mA. Je však důležité tento fakt zmínit a mít ho na mysli při práci s nabíjecím modulem, protože při špatné manipulaci s li-ion články může snadno dojít k explozi a újmě na zdraví nebo majetku.

Protože napětí na baterii se pod zátěží v čase mění a moduly vyžadují stabilní napájení 5 V nebo 3,3 V, je třeba mít v obvodu měniče napětí. K dosažení nejmenší spotřeby je třeba použít měniče s co možná největší efektivitou, to znamená převést napětí s co nejmenší ztrátou energie. Proto je nutné se vyhnout lineárním regulátorům a použít spínané zdroje.

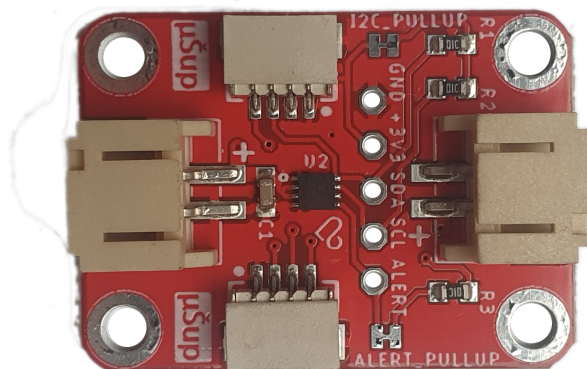
Pro obvod bude napětí 5 V zajišťovat modul spínaného zdroje SX1308. Jedná se o nastavitelný step-up měnič, který dokáže převést vstupním napětím od 2 V do 24 V na výstupní do 28 V, pro výstupní proud je limit maximálně 2 A. Jeho efektivita se při zátěži do 1 A pohybuje okolo 90 %, při zátěži do 2 A klesne efektivita na 75 %. [13]

ESP32-CAM má na své desce lineární regulátor, ale kvůli nízké efektivitě (podrobněji v podkapitole 7.3) bude pro napájení 3,3 V do obvodu přidán i spínací zdroj MP2315. Obvod bude navržen tak, aby bylo možné vybrat způsob napájení. Nastavitelný step-down modul HW-613 mění vstupní napětí od 4,5 V až 24 V na 0,8 V do 17V. Při přerážnutí nastavitelné cesty lze nastavit pevnou hodnotu připájením vyvedených spojů, pro zařízení je nastavena pevná hodnota 3,3 V. Protože vstupní hodnota napětí musí být větší než 4,5 V, není možné napájet měnič z baterie, ale je třeba jej zapojit na 5V napájení z SX1308.

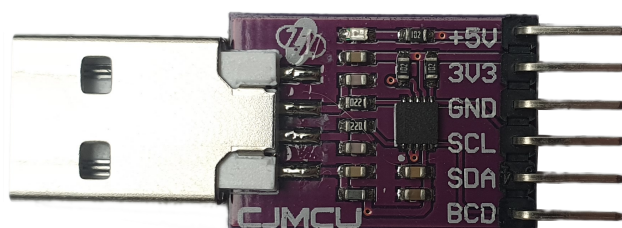
Modul SIM800L má velkou spotřebu, i když nevykonává činnost. Za účelem šetření energie a prodloužení výdrže baterie, je nutné modul odpojit od napájení. Také je třeba mít možnost odpojit modul PIR, protože není vyžadováno jeho funkce po celou dobu, například zařízení nepotřebuje detekovat pohyb v noci. Pro oba případy je třeba do zařízení implementovat obvod pro ovládání napájení. Pro zařízení byl zvolen integrovaný obvod napěťového spínače TPS2043. Napěťový spínač zvládne spínat napětí v rozpětí 2,7 V až 5,5 V a dokáže snést zátěž až 3 A. Spínání se ovládá 3,3 V signálem, který bude přiveden z rozšiřovače portů. Použité spínače budou v obalu DIP8. [14]

3.10 Bateriový měřič

Protože zařízení je vzdálené a nemusí mít přístup k nabíjení, je třeba uživatele nějakým způsobem informovat o stavu baterie. Pro účely měření stavu baterií byl zvolen modul Fuel Gauge MAX17048 od firmy LaskaKit. Modul obsahuje integrovaný obvod MAX17048, jedná se o bate-



■ **Obrázek 3.7** Modul Fuel Gauge MAX17048



■ **Obrázek 3.8** Převodník I²C na USB – FT200XD

riový měřič lithium-iontový článků komunikující přes I²C sběrnici. Modul měřiče dokáže změřit napětí na baterii a také pomocí vlastního algoritmu ModelGauge změřit SoC (relativní stav nabití). Při nízkém odběru z baterie se modul přepne do režimu nízké spotřeby, při kterém sníží interval měření, ale zachová jeho přesnost. V poslední řadě disponuje signalizačním výstupem pro přerušení způsobené nízkým stavem nabití, podnapětím nebo přepětím baterie. [15]

3.11 Ladění zařízení

Při tvorbě programu pro zařízení bude třeba monitorovat, co se v zařízení děje. Za běžných okolností se k tomu využívá hlavní, v případě ESP32-CAM jediná, UART sériová linka. Ale protože ta je obsazena modulem SIM800L, je jediná možnost, jak sledovat dění v zařízení, pomocí sběrnice I²C. Pro sledování stavu zařízení z osobního počítače bude použitý FT200XD převodník I²C na USB. Převodník lze požívat pouze jako slave, tedy je možné komunikaci ze zařízení do počítače přijímat a na příkaz odpovídat. Slave adresu převodníku lze programově nastavit, aby se předešlo konfliktům na sběrnici. V počítači je potřeba nainstalovat ovladače, které jsou k převodníku dodávány. Pro převodník je možné použít dostupné knihovny a napsat si vlastní program, který bude komunikovat s převodníkem a nebo je možné nastavit virtuální hardwarové rozhraní (VCP). [16]

Návrh řešení

V této kapitole bude popsán návrh zapojení jednotlivých modulů a návrh programu, který bude řídit jednotlivé moduly. Navržené řešení by mělo být schopné plně ovládat zařízení a splňovat funkce jako konfiguraci uživatelem přes WiFi síť, komunikace s uživatelem pomocí SMS, pořizování snímků, jejich ukládání a posílání emailovou komunikací.

4.1 Návrh zapojení modulů

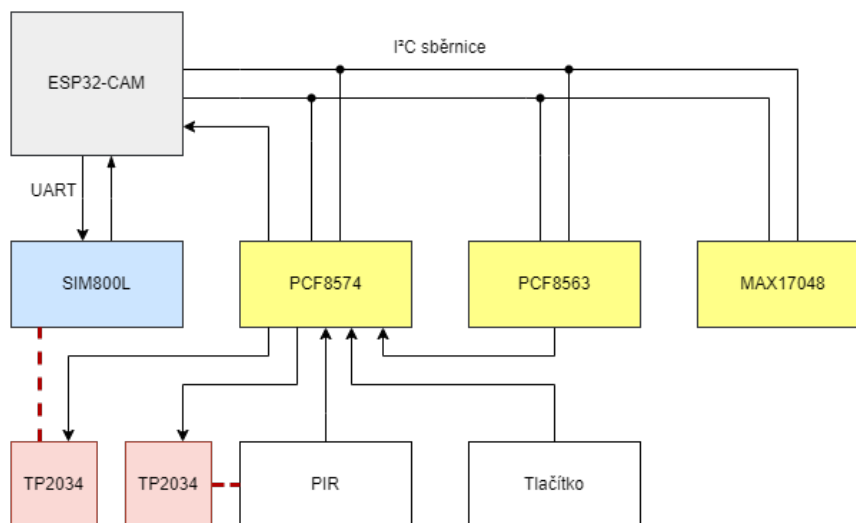
Pro komunikaci mezi ESP32-CAM a SIM800L bude použita UART sběrnice, přes kterou bude ESP32-CAM posílat AT příkazy a snímková data do SIM800L modulu. Pro komunikaci s hlavní jednotkou ESP32-CAM a ostatními moduly bude použita sběrnice I²C. Sběrnice I²C bude vyvedena ven, aby bylo možné přidat další zařízení a nebo ladit jednotku pomocí převodníku na USB FT200XD. Do rozšiřovače portů PCF8574 budou napojeny výstupní signály hodin reálného času PCF8563, PIR senzoru a tlačítka. Z rozšiřovače budou vést signály ovládající napěťové spínače TPS2043. Signál přerušení z rozšiřovače povede do ESP32-CAM. Blokové schéma popsaného zapojení modulů je vyobrazeno na obrázku 4.1.

4.2 Návrh programu

Program bude členěn na podprogramy podle jednotlivých funkcionalit, které mají vykonávat. Například pořizování snímků, komunikace se SIM800L nebo načítání dat z paměti. Program bude navržen na jednotlivé fáze podle stavu zařízení. Při spuštění bude vyhodnocen důvod spuštění, například jestli došlo k detekci pohybu, nebo jestli je třeba kontrola SMS zpráv. Bude následovat inicializace zařízení a případné prvotní nastavení konfiguračních dat. Poté se provedou příslušné akce podle výsledků předešlých dvou fází. Na závěr bude zařízení připraveno na převedení do hlubokého spánku.

Uživatelská konfigurace nastavení bude zprostředkována pomocí WiFi sítě. Program vytvoří na ESP32-CAM přístupový bod WiFi, ke kterému se bude moct uživatel připojit. Po připojení k síti bude uživateli prezentována úvodní webová stránka obsahující formulář pro vyplnění a nastavení konfiguračních dat. Tato počáteční konfigurace bude možná vyvolat zmáčknutím tlačítka na zařízení. Konfigurační data budou ukládána do paměti zařízení, aby zůstala zachována i po opětovném spuštění zařízení po probuzení z režimu hlubokého spánku.

Pro rozšiřovač portu bude napsán vlastní program, protože dostupné knihovny nevyhovovaly požadavkům. Pro hodiny reálného času bude napsán program, rozšiřující již existující knihovnu o nastavení funkcí alarmu. Pro SIM800L bude napsán program, který bude umožňovat spuštění



■ **Obrázek 4.1** Blokové schéma zapojení modulů

tění modulu, čtení SMS zpráv, mazání starých zpráv, čtení aktuálního času ze sítě a odesílání emailových zpráv.

4.3 Vývojové nástroje programu

Obslužný program bude napsán ve vývojovém prostředí PlatformIO [17], které je dostupné jako rozšíření editoru Visual Studio Code [18]. PlatformIO nabízí podporu pro mnoho vývojových platforem, jako například Arduino, STM32 a hlavně ESP32. Přes rozhraní PlatformIO je možné do projektů přidávat volně dostupné knihovny, které byly vytvořeny výrobcem nebo komunitou.

Program bude napsán v Arduino framework upravený pro ESP32 platformu. Je také možné použít ESP-IDF, které je přímo vyvíjené pro ESP32 platformu. Důvod, proč byla dána přednost Arduino framework, je větší dostupnost knihoven a také předešlá znalost autora práce. Při vytváření nových projektů v PlatformIO je zvolena deska AI Thinker ESP32-CAM.

I když PlatformIO má zabudovaný monitor pro zobrazení komunikace po sériové lince mezi počítačem a zařízením, je omezen pouze na jeden kanál a zobrazení pouze v textové podobě nebo v hexadecimální. Při realizaci a testování se použila aplikace Advanced Serial Port Terminal 5.0 od firmy Eltima Software (aktuální název Electronic Team, Inc) [19]. Terminál nabízí jak textovou podobu komunikace, tak i výpis po jednotlivých přijatých bytech. V terminálu lze také nastavit ukončovací sekvenci při odeslání zpráv, toho se využilo při manuálním ladění modulu SIM800L.

4.4 Návrh plošného spoje

Pro návrh zapojení obvodu a design plošného spoje bude použitý software EAGLE [20] od firmy Autodesk. EAGLE poskytuje návrhářům obvodů a plošných spojů automatické nástroje pro propojení schémat a rozložení desky. V aplikaci je možné si vytvořit vlastní zařízení, jeho schematické značení, plošnou stopu a i 3D model. Prostřednictvím knihoven je možné importovat zařízení poskytnuté výrobcem nebo komunitou. Samotný EAGLE již obsahuje slušnou nabídku

základních zařízení a součástek pro volné použití v projektech. Při práci na projektu je možné použít nástroje, které zkontrolují správnost zapojení podle schématu nebo dokáží odhalit další chyby, které nemusí být na první pohled patrné. Výsledný plošný spoj lze z aplikace vyexportovat jako soubor ve formátu Gerber, který je běžně vyžadován při objednávce tvorby plošného spoje.

4.5 Návrh pouzdra

Pouzdro pro výsledné zařízení bude navrženo v programu OpenSCAD [21]. OpenSCAD je open-source software, ve kterém jdou vytvářet 3D modely pomocí programovacího jazyka. Složité objekty se vytváří za použití základních jednoduchých objektů a aplikováním různých operací, jako třeba škálování, rotace, průnik a mnoho dalších. V grafickém prostředí aplikace je možné objekt vykreslit a prohlížet si ho v náhledovém okně. Výsledný objekt je možné vyexportovat jako STL soubor, který je vhodný pro zpracování přípravy na 3D tisk.

Navržené pouzdro bude vytisknuto na 3D tiskárně z PET materiálu.

Realizace zařízení

Kapitola se věnuje vytvoření zapojení součástek zařízení a návrhu desky plošného spoje. Jednotlivá zapojení jsou popsána v podkapitolách a znázorněna na obrázcích. Z vytvořeného zapojení je ve finále vytvořen návrh desky a ta je poté vytvořena.

5.1 Zapojení

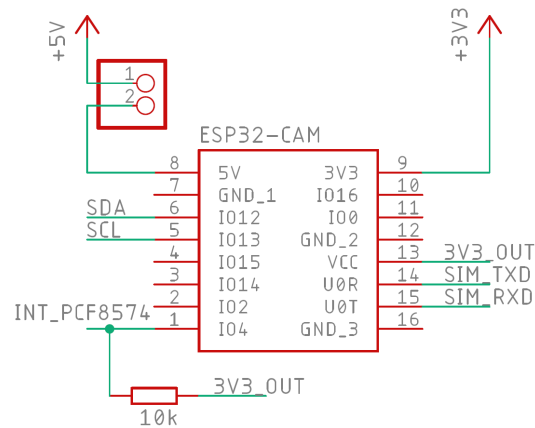
Při tvorbě zapojení je nutné dodržet specifikace jednotlivých modulů a součástek, hlavně jejich napájecí napětí musí být dodrženo, jinak by mohlo dojít k poškození zařízení. Kromě modulů budou zapojeny i pull-up odpory a blokuující kondenzátory. Pull-up odpor slouží k držení klidové napěťové hladiny ve vodiči. V zapojení toho je například využito k držení vysoké logické hladiny u signálů přerušeni a tlačítka. Blokuující kondenzátory slouží k vyrovnání a udržení napětí v obvodu při náhlých vysokých odběrech. Umísťují se co nejbližší k vstupům modulů. V zapojení se použily převážně hodnoty 10 nF a 100 nF.

Schéma zapojení byla vytvořena v programu EAGLE. Pro většinu modulů byly vytvořeny vlastní schématické symboly. Pro symboly jednoduchých součástek, jako jsou odpory nebo kondenzátory, byly použity symboly dostupné ze standardní knihovny.

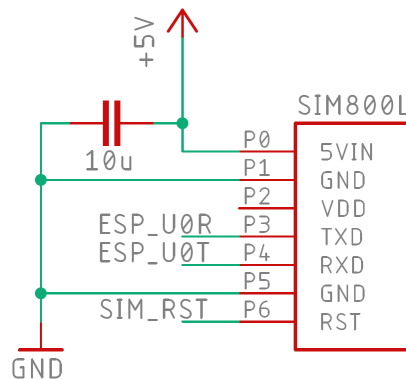
Výsledné schéma zapojení zařízení je v příloze A.

5.1.1 Modul ESP32-CAM

Schéma zapojení ESP32-CAM je na obrázku 5.1. Napájení do modulu je zavedeno dvěma způsoby. Buď je modul napájen přímo z 5 V do pinu označený jako 5V (musí být propojen header) a převod na 3,3 V je uskutečněn na interním lineárním regulátoru ASM1117. Nebo je modul napájen přímo 3,3 V ze spínacího zdroje MP2315 do pinu označený jako 3V3. Je velmi důležité, aby modul nebyl napájen do obou pinů zároveň, mohlo by dojít k trvalému poškození zařízení. Z pinu VCC je dodáváno napájení o napětí 3,3 V do zbytku zařízení. K modulu není třeba dodávat blokuující kondenzátory, protože už je má přímo na své desce. Vyvedená sériová sběrnice UART, piny U0R a U0T, je zapojena do vyvedené sériové sběrnice modulu SIM800L. Přes sběrnici bude přenášena veškerá komunikace mezi ESP32-CAM a SIM800L. Vyvedená sběrnice I²C je programově nastavena na pinech IO13 pro hodinový signál SCL a IO12 pro datový signál SDA. Přes sběrnici bude ESP32-CAM komunikovat jako master se všemi ostatními připojenými moduly. Do pinu IO4 vede signál přerušeni z PCF8574. Protože je signál generován open drain obvodem, je třeba přidat na vodič signálu pull-up odpor o hodnotě 10 k Ω . Všechny piny s označením GND jsou zapojeny k uzemnění.



■ Obrázek 5.1 Schéma zapojení modulu ESP32-CAM



■ Obrázek 5.2 Schéma zapojení modulu SIM800L

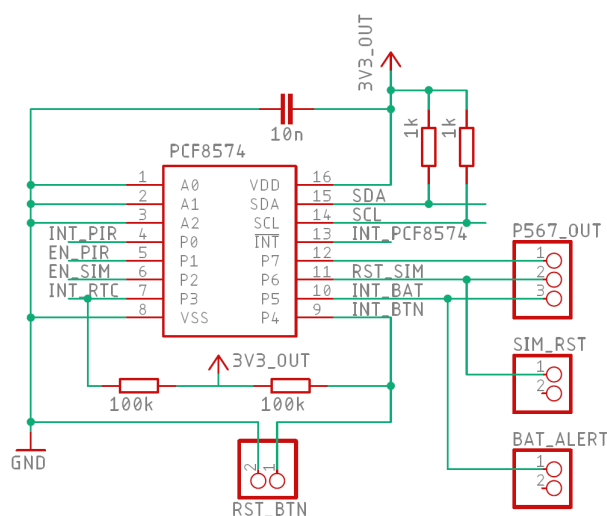
5.1.2 Modul SIM800L

Schéma zapojení modulu SIM800L je na obrázku 5.2. Modul je napájen 5V, které jsou přiváděny z napětového spínače TPS2043. K napájení je připojen blokový kondenzátor o 10 μF , protože modul má velké proudové výkyvy při připojení do sítě. Sériová UART sběrnice, piny TXD a RXD, jsou napojeny na piny sériové sběrnice ESP32-CAM. Pin RST je zapojen do rozšiřovače PCF8574 a slouží pro resetování modulu SIM800L (reset se provede stažením pinu k logické nule na víc jak 100ms). Oba GND piny jsou zapojené do společné země zařízení. K modulu se ještě zapojuje externí anténa pro připojení se k síti.

5.1.3 Rozšiřovač portů PCF8574

Schéma zapojení PCF8574 je na obrázku 5.3. PCF8574 je napájeno z 3,3 V, které vedou z ESP32-CAM. Pro komunikaci je rozšiřovač připojen k sběrnici I²C. Adresa komunikace PCF8574 je nastavitelná pomocí pinu A0, A1 A2. Aby byla 7-bitová adresa 0X20, je třeba všechny adresové piny zapojit do země (logická nula). Pin INT vede do ESP32-CAM a signalizuje přerušování vyvolané změnou stavu jednoho z vstupně výstupních pinů. Následuje stručný popis funkcí pinů:

P0 slouží k čtení signálu z PIR senzoru, logická jedna na vodiči znamená zaznamenaný pohyb



■ **Obrázek 5.3** Schéma zapojení PCF8574

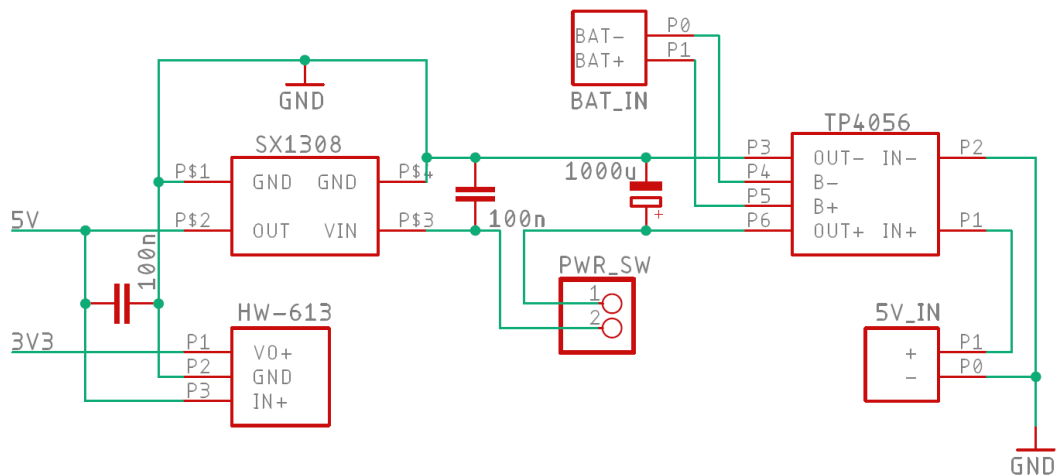
- P1** ovládá napěťový spínač PIR senzoru, při zápisu logické nuly se PIR odpojí od napájení (v takovém případě je třeba nastavit i P0 na nulu, aby nedocházelo k falešné detekci pohybu)
- P2** ovládá napěťový spínač modulu SIM800L, při zápisu logické nuly se modul odpojí od napájení
- P3** signál přerušení z hodin reálného času PCF8563, na vodič je přidán 100 k Ω odpor, protože se přerušení signalizuje open drain obvodem
- P4** slouží ke čtení stavu pull-up tlačítka, zmáčknutý stav má logickou nulu
- P5** signál přerušení z bateriového měřiče, je možné odpojit a použít na něco jiného
- P6** resetuje modul SIM800L, je možné odpojit a použít na něco jiného
- P7** pin není v zařízení využit a je volný k použití

5.1.4 Hodiny reálného času PCF8563

Hodiny reálného času jsou napájeny z ESP32-CAM 3,3 V. Pro komunikaci s modulem jsou napojené na sběrnici I²C pomocí vodičů SDA a SCL. Pin INT je zapojen na pin P3 rozšiřovače PCF8574. Na desce PCF8563 se nachází baterie, která poskytuje napájení pro hodinový obvod i v případě odpojení externího napájení. Napájení z baterie je ale třeba vybrat kolíkovou propojkou, tedy nastavit do pozice BAT. Protože vývody napětí a přerušení směřují při umístění na plošný spoj ven, je třeba piny odpájet a připájet je na opačnou stranu. Na konci desky hodin jsou zástrčkové dutinky s vývodem napětí a sběrnice, které je možné použít pro rozšíření o další moduly.

5.1.5 Bateriový měřič MAX17048

Bateriový měřič je napájen z ESP32-CAM 3,3 V. Pro komunikaci s ESP32-CAM je napojen na sběrnici I²C pomocí pinů SDA a SCL. Pin ALERT je zapojen na pin P5 rozšiřovače PCF8574, ale v případě nepoužití je možné odpojit rozpojením vyvedenou kolíkovou propojkou. Měřič má na sobě dva JST-PH-2 konektory, do jednoho bude zapojena baterie a z druhého bude vyvedené spojení baterie do nabíjecího modulu TP4056. Na desce bateriového měřiče se nachází ještě dva konektory JST-SH-4, které jsou rozšířením napájení a sběrnice.



■ **Obrázek 5.4** Schéma zapojení napájení zařízení

5.1.6 Napěťové spínače

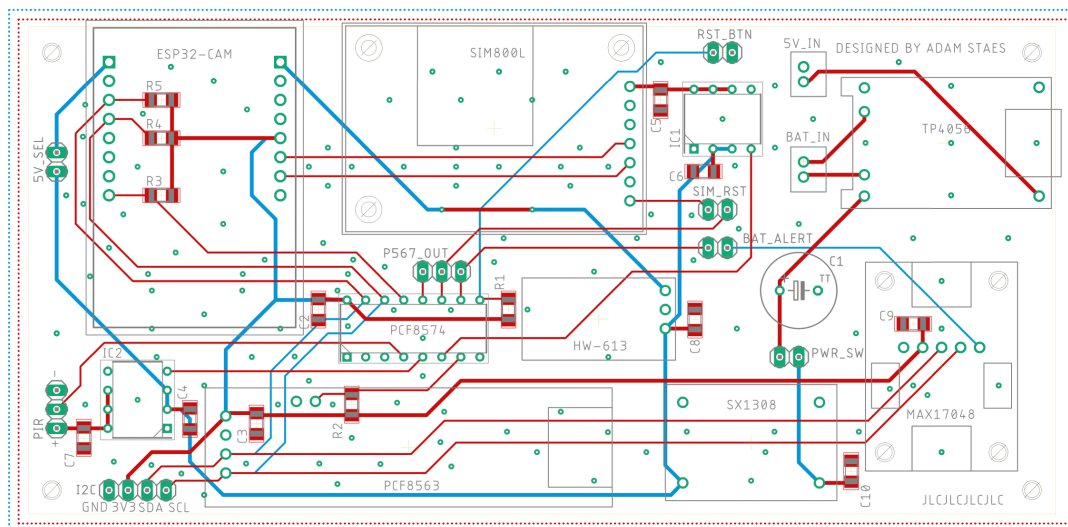
V zařízení jsou použity dva napěťové spínače TPS2043, které umožňují odpojit modul SIM800L a PIR senzor od napájení. Na piny IN je přivedeno napájení 5V, u vstupu je přidán blokující kondenzátor o 10 nF. Výstupy OUT jsou poté zavedeny k zařízení, které spínají. Pin EN se ovládá 3,3 V logickou úrovní, kdy logická jedna znamená sepnuto. Signální vodiče pro EN jsou vyvedeny z rozšiřovače PCF8574, pro PIR je to pin P1 a pro SIM800L je to pin P2.

5.1.7 Napájecí obvod

Schéma zapojení celé části napájecího obvodu je na obrázku 5.4. Napájecí obvod se skládá ze tří hlavních součástí. Bateriové nabíječky TP4056 a dvou spínacích zdrojů. Na piny B+ a B- bateriové nabíječky je přivedeno zapojení bateriového článku. Je důležité, aby B- nebylo spojeno se zemí zbytku zařízení, jinak nebude fungovat rozpínací ochranný obvod nabíječky. Vývody OUT+ a OUT- jsou vyvedeny do step-up spínacího zdroje SX1308, kde dochází k převodu napětí baterie na stabilních 5 V, které byly nastaveny pomocí proměnného odporu. Mezi tímto zapojením jsou dva blokové kondenzátory o 100 nF a 1000 μ F, které zajišťují stabilitu dodávaného napětí při rychlých nárůstech odběrového proudu. Ještě je mezi OUT+ a VIN přidána kolíková hlavice, na které je umístěn kolébkový spínač pro úplné odpojení zařízení od napájení. Na výstup 5 V je napojen step-down spínací zdroj MP2315 (modul HW-613), který reguluje vstupní napětí na 3,3 V a dodává jej do ESP32-CAM. MP2315 má na desce také nastavitelný odpor, kterým je možné měnit výstupné napětí, ale pro zařízení bylo použito pevné nastavení pomocí spájení plošných destiček a přerušení obvodu proměnného odporu. K IN+ je zapojen blokující kondenzátor 100 nF.

5.2 Plošný spoj

Po otestování součástek zapojení v nepájivém poli byla pro zapojení navržena a zhotovená deska plošného spoje.



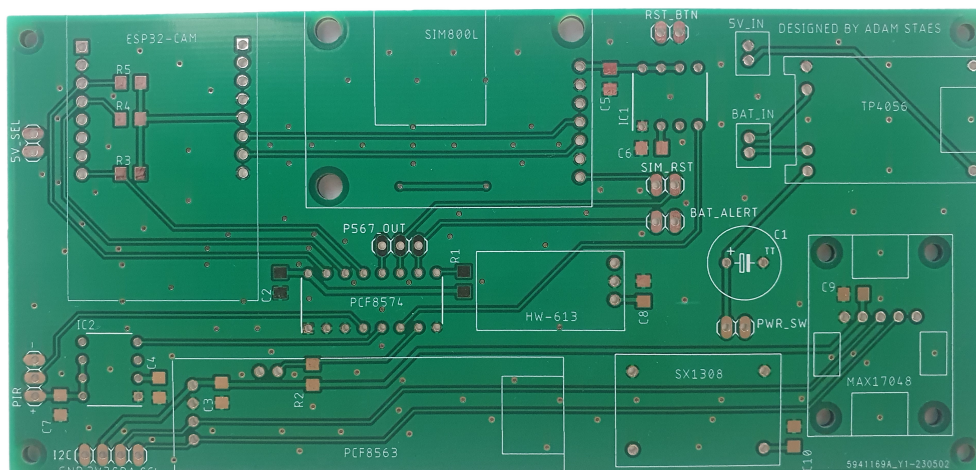
■ **Obrázek 5.5** Návrh plošného spoje zařízení vytvořený v EAGLE

5.2.1 Návrh plošného spoje

Pro návrh desky bylo třeba nejprve vytvořit v programu EAGLE schéma celého zapojení. Vytvořené schéma je v příloze A. Následně se schéma převedlo do návrhu desky plošného spoje. Zhotovená deska má rozměry 137x65 mm a je dvouvrstvá. V horní vrstvě jsou vedené všechny signální vodiče a spodní vrstva je využita jako propojovací v případě, že se v horní vrstvě vodiče kříží a potřebují se dostat přes sebe. Pro přechod z jedné do druhé vrstvy se využily prokovy. V každém rohu desky jsou montážní otvory k upevnění. Při návrhu desky byla snaha umístit moduly ESP32-CAM a SIM800L co nejbliž k okraji desky, aby uživatel zařízení měl snadný přístup k slotům SD a SIM karet. Tlačítko a kolébkový spínač nejsou osazené na desce, aby mohly být zavedeny na vnějšek pouzdra pro volný přístup. Všechny součástky odporů a kondenzátorů jsou SMD typu (plošná montáž) o velikosti 1206. Signálové vodiče mají tloušťku 0,254 mm a pro napájecí vodiče byla použita větší tloušťka 0,508 mm. Zbylá volná plocha kolem vodičů je vyplněna zemnicí plochou. Zemnicí plochy jsou hojně propojeny prokovy mezi horní a dolní vrstvou, aby tvořily dobrý izolant rušení mezi signálovými vodiči. Horní vrstva má popisný potisk, aby bylo snazší desku osadit součástkami. Výsledná navržená deska je na obrázku 5.5.

5.2.2 Tvorba desky plošného spoje

Navržený plošný spoj byl na objednávku vyroben ve firmě JLCPCB. Pro podání objednávky je třeba dodat návrh desky v Gerber souboru, ten však umí program EAGLE z návrhu vytvořit automaticky. Objednáno bylo pět kusů plošného spoje (minimální kvantum pro objednávku). Objednávka dohromady stála 200,- Kč, tedy 40,- Kč za kus (v ceně není započítaná doprava). Pro osazení desky je možné připájet moduly přímo do plošného spoje a nebo ji osadit dutinkovými lištami pro snadné vyměnění součástek. ESP32-CAM je třeba osadit do dutinkových lišt, protože plošný spoj neobsahuje programovací obvod. Vytvořená deska je na obrázku 5.6



■ Obrázek 5.6 Zhotovená deska plošného spoje

5.3 Tvorba pouzdra

Pouzdro pro zařízení je tvořeno dvěma díly. Spodní díl v sobě sobě ukládá veškeré komponenty zařízení a vrchní díl zakrývá spodní díl. Spodní díl má hned několik otvorů. Ze předu se nachází dva otvory nad sebou, horní pro vyvedenou kameru a spodní pro PIR senzor. Na levém boku dílu se nachází tři otvory, dva pro vložení karet do modulů a třetí pro tlačítko konfigurace zařízení. V zadní části se nacházejí dva otvory pro vyvedení nabíjecího kabelu a pro kolébkový přepínač napájení zařízení. Uvnitř spodního dílu je nejdříve umístěn bateriový box a nad ním se nachází deska plošného spoje, která je upevněna montážními otvory.

5.4 Cena zařízení

Výsledná cena zařízení vyšla na 1602,- Kč, podrobné vyčíslení je v tabulce 5.1. Pod pojmem ostatní součástky se v tabulce řadí všechny laciné součástky jako odpory, kondenzátory, dutinkové lišty nebo tlačítka. Většina součástek byla zakoupena v tuzemských obchodech, kde jsou ceny vyšší než v konkurenčních e-shopech jako je AliExpress. Do výsledné ceny se nezapočítává poštovné, protože se odvíjí od lokace doručení. Dále v ceně není zahrnuta cena materiálu pro výrobu pouzdra.

5.5 Rozšíření

Protože má zařízení na desce plošného spoje vyvedené porty PCF8574 a také sběrnici I²C, je možné zařízení rozšířit o další funkcionality. Například by bylo možné přidat světelné čidlo, které by mohlo zařízení informovat o příliš nízkém stavu osvětlení prostoru pro pořízení snímku. VEML7700 je modul světelného čidla co dokáže komunikovat se zařízením přes sběrnici I²C. S tím je spojené rozšíření možnosti pořízení snímku v noci. Bylo by možné přidat infračervený přísvit a pořídit kameru, která nemá filtr infračerveného světla. Před kameru by se pak namontovala klapka s filtrem, která by se stejně jako přísvit dala ovládat spínačem napětí. Nebo by bylo možné ke kameře přimontovat servo motor, který by umožnil uživateli dálkově ovládat polohu natočení kamery.

■ **Tabulka 5.1** Vyčíslené ceny součástek

Součástka	Cena
ESP32-CAM + OV2640 120°	240 Kč
SIM800L	260 Kč
SD karta	99 Kč
PCF8574	62 Kč
PCF8563	100 Kč
PIR HC-SR501	38 Kč
2x TPS2034	128 Kč
HW-613	34 Kč
SX1308	38 Kč
2x Li-ion 18650	246 Kč
TP4056	19 Kč
MAX17048	98 Kč
plošný spoj	40 Kč
ostatní součástky	200 Kč
Cena celkem	1602 Kč

Realizace programu

Tato kapitola se věnuje realizaci programu pro ESP32-CAM. Podkapitoly popisují funkce a třídní metody, které byly pro program vytvořeny. Také je v kapitole uvedeno, jaké jsou použité knihovny pro realizaci.

6.1 Program pro ESP32-CAM

Hlavní program se nachází v souboru *main.cpp*. Po spuštění programu se zavolá funkce *setup*, v té se odehrává veškeré nastavení zařízení. Po doběhnutí funkce *setup* se spustí v nekonečné smyčce funkce *loop*, která obsahuje část programu na usnutí, tedy smyčka se vykoná jen jednou.

Pro přepnutí ESP32-CAM do režimu hlubokého spánku je použita funkce *esp_deep_sleep_start* ze standardní knihovny. Pro nastavení důvodu probuzení je použita funkce *esp_sleep_enable_ext0_wakeup*, které se předá jaký pin a za jaké hodnoty způsobí probuzení. Nastavený pin musí být jeden z RTC pinů ESP32-CAM. V případě zařízení je nastavován GPIO 4 s hodnotou LOW.

Pro práci s SD kartou se využívá knihovna *SD_MMC*. Knihovna umožňuje číst a zapisovat soubory na SD kartu a také pracovat se souborovým systémem na SD kartě.

6.2 Pořízení snímků

Pro pořízení snímků pomocí ESP32-CAM, byla napsána třída *my_camera* v *my_camera.h* a *my_camera.cpp*. Třída využívá knihovnu *esp_camera* poskytovanou výrobcem ESP32. Z knihovny jsou využity funkce *esp_camera_init* pro nastavení kamery a *esp_camera_fb_get*, která slouží pro pořízení snímků. Při pořízení prvního snímku, je nutné jich pořídít několik, aby se ustálila kvalita barev. Vytvořená třída má metody:

start metoda nastaví a spustí kameru

takeImg metoda pořídí snímek a uloží data do PSRAM paměti

getLastImg metoda získá poslední pořízený snímek z PSRAM

getSensor metoda získá strukturu *sensor_t* pro nastavení kamery

6.2.1 Programování ESP32-CAM

Pro nahrání programu do modulu ESP32-CAM je nutné propojit GPIO 0 se zemí (nastavit flashing mode), program se nahraje pomocí sériového rozhraní na RXD a TXD pinech (GPIO

3 a GPIO 1). K tomu je vhodné použít převodník USB na UART. Je možné využít i některé mikrořadiče a vlastní programátor si vytvořit.

6.3 Ovládání SIM800L

Pro komunikaci s modulem SIM800L prostřednictvím programu je třeba používat sadu AT příkazů. Napsaný program pro ovládání modulu je v souborech *SIM800L.h* a *SIM800L.cpp* implementována jako třída SIM800L. Metody třídy nastaví modul a dokáže číst SMS zprávy, odesílat emaily a získat aktuální čas.

start metoda zahájí komunikaci s modulem

ready metoda počká na registraci modulu do mobilní sítě a spuštění všech funkcí

isSMS metoda zkontroluje, zda přišla nějaká nová SMS zpráva a navrátí její index

readSMS metoda vrátí číslo a text přečtené SMS zprávy

deleteSMS metoda smaže SMS zprávu podle indexu

deleteAllSMS metoda smaže z modulu všechny SMS zprávy

sendEmail metoda vytvoří a odešle email

getTime metoda získá z modulu aktuální čas

6.3.1 Popis použitých AT příkazů

V této podkapitole je stručný popis všech použitých AT příkazů v programu pro komunikaci s SIM800L. Každý příkaz musí být zakončen ukončovacím znakem, kterým je znak odřádkování (line feed – 0x0A). Plný rozsah všech příkazů, které série SIM800 podporuje jsou k dispozici v plné dokumentaci [22] poskytnuté firmou SIMCom.

AT nutná předpona pro každý příkaz, v samotném výskytu je příkaz použit pro zahájení komunikace s modulem, navrací status provedení příkazu, v případě správného vykonání OK a v případě chyby navrací zprávu ERROR

AT+CNMI zapíná nebo vypíná notifikace nově příchozích SMS zpráv, v programu jsou notifikace vypnuté, aby se zabránilo nečekaným zprávám během běžné komunikace, které rozhodí kontrolu výstupu

AT+CMGF nastaví formát SMS, v programu je použitý Text mode

AT+CMGL vypíše SMS zprávy, je možné volit mezi druhem úložiště a druh zpráv k výpisu, například přečtené nebo nepřečtené zprávy

AT+CMGR přečte přímo jednu SMS zprávu podle indexu

AT+CMGD smaže SMS zprávu z paměti podle zadaného indexu

AT+SAPBR nastaví a připojí modul k mobilní datové síti

AT+EMAILCID nastaví profil emailu

AT+EMAILTO nastaví dobu platnosti odesílání emailu

AT+EMAILSSL nastaví email, aby používala zabezpečenou komunikaci SSL protokolu

AT+SMTPSRV nastaví adresu a port pro SMTP

AT+SMTPAUTH nastaví údaje pro přihlášení se do emailu odesílatele

AT+SMTPFROM nastaví adresu odesílatele

AT+SMTPRCPT nastaví adresu příjemce

AT+SMTPSUB načte předmět vytvářeného emailu

AT+SMTPBODY načte textový obsah vytvářeného emailu

AT+SMTPFILE přidá soubor do přílohy emailu

AT+SMTPSEND spustí odesílání emailu

AT+SMTPPFT po paketech odesílá data přiloženého souboru

AT+CIPGSMLOC získá aktuální světový čas, je třeba internetového připojení

AT+CPOWD ukončí veškeré funkce modulu a následně jej vypne

6.4 Konfigurační data

Pro ukládání a načítání konfiguračních dat se používá knihovna *Preferences*. Knihovna je součástí Arduino framework pro ESP32. Knihovna nabízí funkce pro ukládání dat pod klíčovými názvy do EEPROM paměti, která se zachová i po znovuspuštění ESP32-CAM. Aby mohl uživatel nastavit konfigurační data přes WiFi síť, je použita knihovna *ESPAsyncWebServer*. V souborech *config_handler.h* a *config_handler.cpp* se nachází třída *ConfigHandler*, která spravuje načítání a ukládání konfiguračních dat pomocí knihovny *Preferences*. Pro nastavení konfigurace uživatelem vytvoří *ConfigHandler* WiFi access point na ESP32-CAM. Po připojení uživatele k síti WiFi, odešle *ConfigHandler* uživateli webovou stránku s formulářem konfiguračních dat. Po odeslání *ConfigHandler* data zpracuje a uloží. Konfigurační data jsou například emailová adresa uživatele, telefonní číslo uživatele, přístupové údaje do emailu odesílatele, název a číslo portu SMTP odesílatele a APN operátora. Konfigurační data je možné v programu libovolně rozšiřovat.

6.5 Komunikace s IO expandérem

Pro ovládání PCF8574 byla napsána třída *my_PCF8574*, která je v souboru *my_PCF8574.h* a *my_PCF8574.cpp*. Pro komunikaci po sběrnici I²C je použita knihovna *Wire*, která je součástí Arduino framework. Třída má následující metody:

start metoda zahájí komunikaci prvním přečtením stavu pinů

getPinVal metoda přečte stav specifického pinu a vrátí přečtenou hodnotu

getPinAll metoda přečte všechny piny a vrátí jejich hodnoty

setPinVal zapíše hodnotu na daný pin

setPinMode nastaví pin buď na INPUT nebo OUTPUT

6.6 Komunikace s hodinami reálného času

Pro práci s hodinami reálného času PCF8563 je využito třídy `my_PCF8563` v `my_PCF8563.h` a `my_PCF8563.cpp`. Třída rozšiřuje knihovnu `RTClib` o funkci nastavení alarmu. Třída má následující metody:

start metoda zahájí komunikaci s hodinami, v případě že hodiny nebyli nastaveny, ohlásí to chybovou návratovou hodnotou

getTime metoda přečte aktuální čas hodin

setTime metoda nastaví čas hodin

setAlarm metoda nastaví alarm hodin

6.7 Knihovna pro bateriový měřič

Pro práci s bateriovým měřičem je použita knihovna `MAX17048`. Knihovna poskytuje funkce pro získání napětí na baterii a procentuálního stavu nabití baterie.

6.8 Ladění programu

Protože ESP32-CAM nemá volnou sériovou linku, přes kterou by se daly posílat data do počítače, bylo použito řešení převodníku I²C na USB. Pro odesílání ladících zpráv z programu byla napsána třída `FT200XD` v `FT200XD.h` a `FT200XD.cpp`. Třída má metody typu `print`, které imitují stejnojmenné funkce knihovny `HardwareSerial`.

Kapitola 7

Testování

Kapitola se věnuje jak byly testovány součástky použité v zařízení. Dále se věnuje testování různých kamer, testování doby běhu zařízení na bateriích a testování možností alternativního napájení.

7.1 Testování modulů

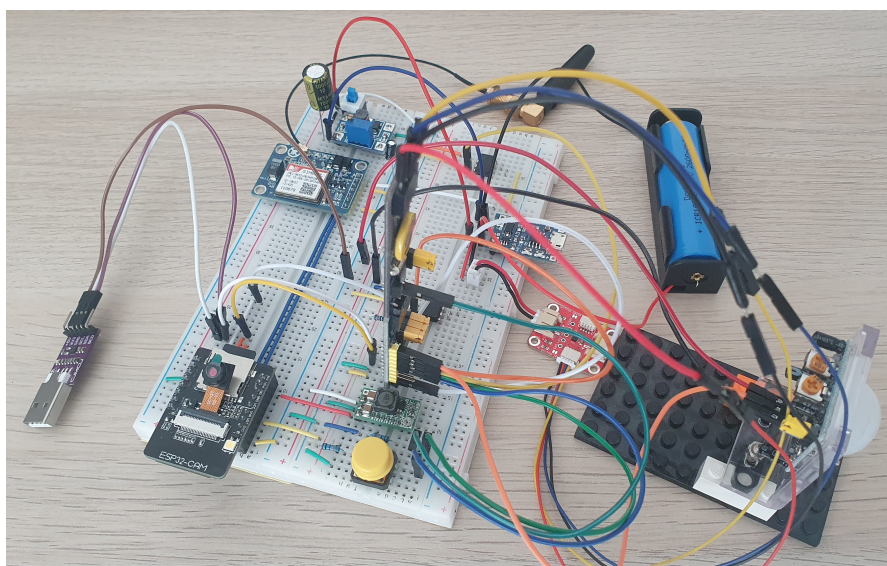
Při výběru modulů byl každý z nich otestován, zda splňuje žádané požadavky. Jednalo se o izolované testy jen s hlavní řídicí jednotkou zapojené v nepájivém poli. Po nalezení všech modulů, které uspokojily veškeré požadavky, byly moduly testovány ve větších celcích podle jejich funkcionality nebo podle komunikační sběrnice. Celkové zapojení zařízení bylo testováno v průběhu tvorby programu. Na obrázku 7.1 je testované zapojení celého zařízení v nepájivém poli.

Při testování byla nalezena chyba zapojení přerušení z PCF8574 do EPS32-CAM. GPIO 4 na sobě má napojen obvod s tranzistorem, který ovládá flash svítilnu. Při vystavení napětí na pin dojde k rozsvícení svítilny. Problém je, že aby svítilna nesvítila pořád je k obvodu připojen pull-down odpor. V návrhu je ale k GPIO 4 připojen pull-up odpor, aby mohl PCF8674 signalizovat přerušení. Protože flash svítilna v zařízení nemá využití, byl obvod od pinu odpojen. Na desce byl odpájen odpor, značený ve schématu ESP32-CAM jako R13, který spojoval pin a obvod svítilny.

7.2 Test kamer

Zařízení může být umístěno do míst, kde bude cílem zabrat ve snímku co největší záběr okolí, například vchodové dveře, a nebo se zaměřit pouze na určitou část prostoru, například na příjezdovou cestu k pozemku. K vyřešení problému lze vyměnit kameru zařízení s čočkou zorného úhlu přímo pro specifický pozorovaný prostor. Modul ESP32-CAM má na své desce soket pro snadnou výměnu zapojené kamery. Jedná se o soket pro FFC 24 pin kabel s roztečí 0,5 mm. Pro otestování vyměnitelnosti kamer byly pro práci pořízeny tři kamery se zornými úhly 68°, 120° a 160°.

Pro test byl napsán program, který pořizoval snímky v rozlišení 1600x1200 px. Kamery byly nasměrovány tak, aby snímaly stejný prostor a aby byl patrný rozdíl mezi zornými úhly. Na obrázku 7.2 je pořízený snímek kamerou se zorným úhlem 68°. Na obrázku 7.3 je pořízený snímek kamerou se zorným úhlem 120°. Na obrázku 7.4 je pořízený snímek kamerou se zorným úhlem 160°. U kamery se zorným úhlem 160° je vada v barvách, kterou nebylo možné odstranit, pravděpodobně se jedná o vadný kus bez infračerveného filtru (kamera se prodává i bez filtru, je možné, že se prodejce spletl a kusy zaměnil).



■ **Obrázek 7.1** Test zařízení v nepájivém poli

7.3 Test spotřeby zařízení

Protože zařízení může být napájeno z nespolehlivého zdroje, obsahuje bateriové články, aby mohlo fungovat i bez externího napájení po delší dobu. Pro účel otestování, jak dlouho by zařízení opravdu dokázalo vydržet při napájení pouze z bateriového článku, byl vytvořen test, který běžel po dobu několika dní.

K měření dat byl vytvořen pro ESP32-CAM program, který po spuštění zařízení změří stav bateriového článku, tedy jeho napětí a procentuální nabití SoC (State of Charge). Stav baterie je měřen modulem LaskaKit Fuel Gauge MAX17048, který je použit ve výsledném řešení zařízení. Naměřená data jsou poslána na emailovou adresu pomocí modulu SIM800L. Následně si ESP32-CAM nastaví vnitřní RTC obvod pro probuzení na 1,5 hodiny a přepne se do hlubokého spánku. Při hlubokém spánku je SIM800L úplně odpojené od napájení spínacím obvodem. Po 1,5 hodině se ESP32-CAM probudí a celý program vykoná znova. K obvodu je zapojen jeden bateriový článek o kapacitě 2600 mAh.

Hlavním cílem testu bylo získat data o rychlosti vybíjení baterie. Ale také byl test použit pro porovnání regulátorů napětí. ESP32-CAM může být napájeno dvěma způsoby přes vývody označené jako 5V nebo 3V3.

Vstup označen 5V lze napájet i vyšší hodnotou než je 5 V. Deska totiž obsahuje vestavěný lineární regulátor AMS1117, který dokáže regulovat vstupní napětí, v případě ESP32-CAM, výstupní napětí 3,3. Lineární regulátor napětí funguje na principu spalování přebytečné energie. Teoreticky by měla být efektivita rovna V_{in}/V_{out} , tedy při vstupu 5 V a výstupu 3,3 V je efektivita rovna 66%. Při větším vstupním napětí bude ztráta ještě větší a i tak bude větší teplo vyzařované do okolí. Proto v případě nutnosti nízké spotřeby zařízení je dobré se vyhnout napájení desky přes lineární regulátor. [23]

Vstup 3V3 je třeba napájet přesným napětím o 3,3 V, protože na desce modulu není žádný regulátor napětí. V obvodu zařízení je zapojen modul spínaného zdroje HW-613 obsahující integrovaný obvod MP2315, který převede vstupních 5 V na 3,3 V. Spínaný zdroj má lepší efektivitu a menší teplotní výstup. Efektivita modulu by se měla pohybovat v rozmezí 78% (při 0,01 A) až 95% (při 1 A). Ale protože spotřeba zařízení ve spánkovém režimu je menší než 10 mA, efektivita bude ještě menší. [24]

Test byl spuštěn na dvou obvodech, lišících se ve způsobu napájení ESP32-CAM, jeden byl



■ **Obrázek 7.2** Pořízený snímek kamerou se zorným úhlem 68°



■ **Obrázek 7.3** Pořízený snímek kamerou se zorným úhlem 120°



■ **Obrázek 7.4** Pořízený snímek kamerou se zorným úhlem 160°

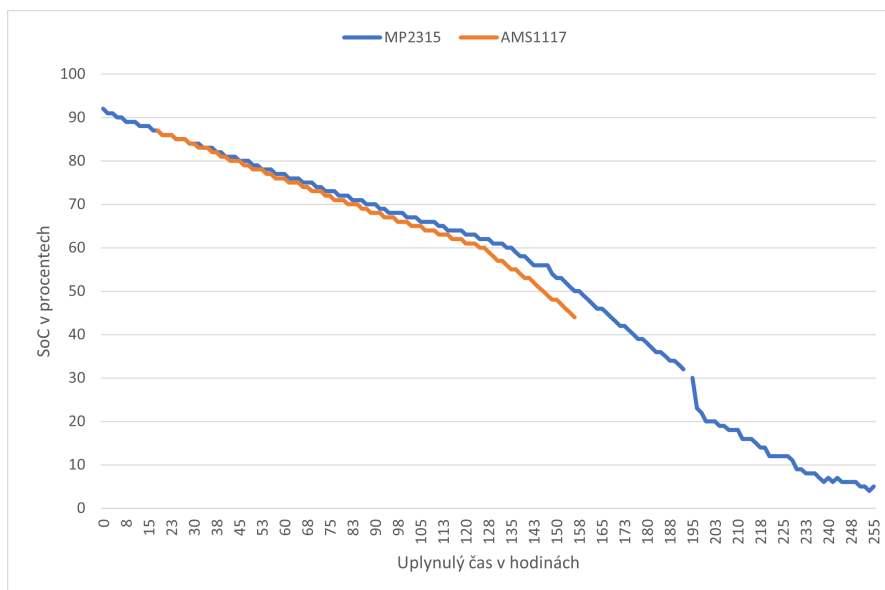
napájen přes vestavěný lineární regulátor AMS1117 a druhý přes externí spínací zdroj MP2315. Před otestováním obou zapojení zněla prognóza, že menší spotřeba bude zaznamenána v obvodu se spínacím obvodem.

První test se zapojením ASM1117 a s počátečním SoC 87 % běžel po dobu 138 hodin a za tu dobu SoC kleslo na 44 %. Test byl předběžně ukončen, protože se nasbíralo dostatek dat pro vysledování trendu poklesu SoC na baterii.

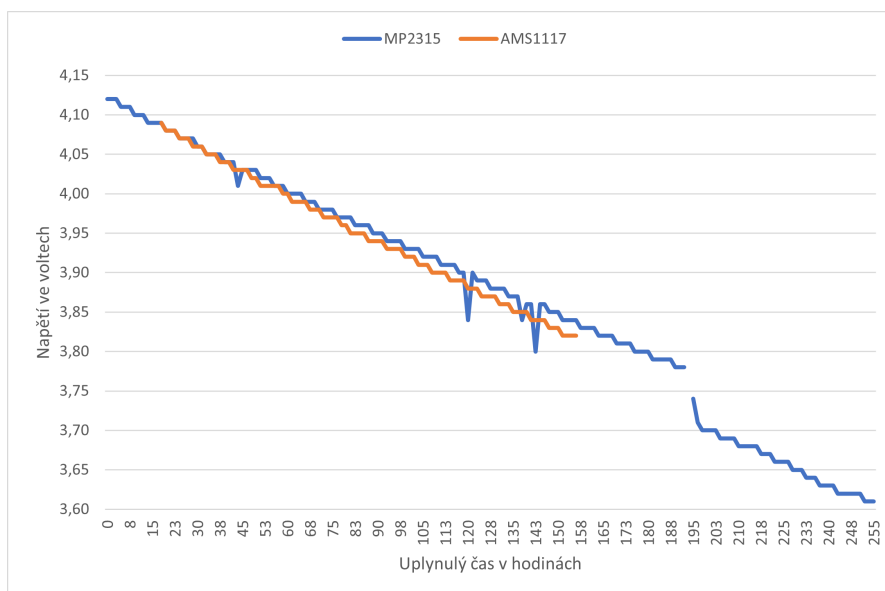
Druhý test se zapojením MP2315 a s počátečním SoC 92 % běžel po dobu 255 hodin, než došlo k úplnému vybití, přesněji modul TP4056 již nedovolil další vybíjení, aby nedošlo k poškození baterie. Poslední naměřená hodnota SoC byla 5 %. U druhého testu došlo v čase 193,5 hodin k výpadku, zpráva o stavu zařízení se neodeslala. A následující data ukazují prudký pokles SoC. Protože se událost stala v noci, nebylo možné chybu hned zaznamenat. Po analýze možné chyby, autor došel k závěru, že se při chybě správně neodpojil modul SIM800L od napájení a po celou dobu do dalšího měření spotřebovával energii, což vedlo k navýšení spotřeby. Tento výskyt chyby poukazuje na fakt nutnosti odpojit SIM800L od napájení pro prodloužení životnosti zařízení.

Protože oba testy neběžely stejnou dobu a nezačínaly se stejným SoC, bylo třeba najít časový úsek, kdy mají oba testy stejné hodnoty SoC. Pro porovnání dat bylo třeba první test posunout o 18 hodin. Porovnávaná data obou zapojení obvodů byla zakreslena do dvou grafů pro lepší vizualizaci. První graf 7.5 porovnává pokles SoC v čase a druhý graf 7.6 porovnává pokles napětí baterie v čase. Z porovnání vyplývá, že za dobu 138 hodin se od sebe odchýlily o 6 %.

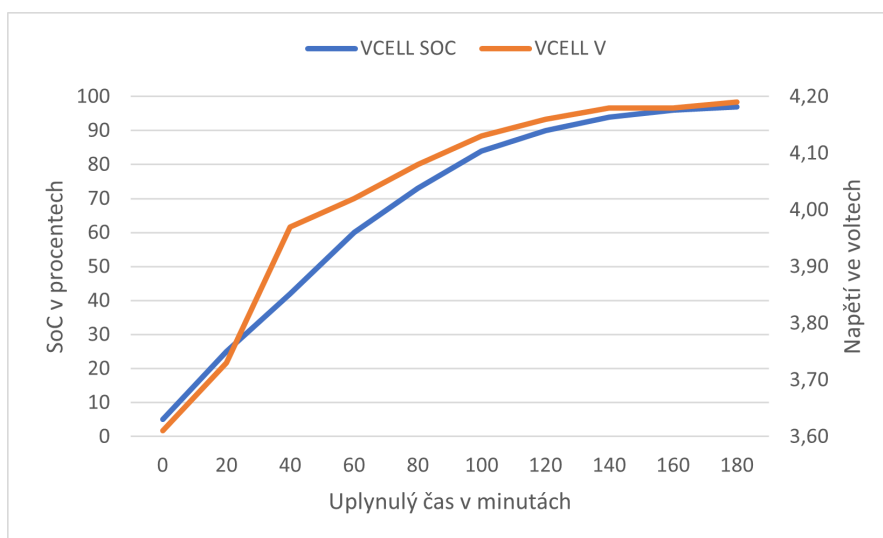
Závěrem je tedy patrné, že i když se spotřeba o moc neliší, dlouhodobě se vyplatí napájet zařízení spínacím zdrojem MP2315. Z naměřených dat byla odhadnuta životnost zařízení napájené ze dvou bateriových článků (každý o kapacitě 2600 mAh) na 21 dní. To je hodnoceno jako dostačující doba pro běh zařízení bez nutnosti externího napájení. Je třeba podotknout, že tento odhad plyne z dat, která v sobě měla zmíněný výpadek a také docházelo k pravidelnému probouzení, takže ve skutečnosti bude záležet na tom, jak často se bude zařízení probouzet a vykonávat činnost.



■ **Obrázek 7.5** Graf porovnání závislosti SoC na uplynulém čase pro zapojení ASM1117 a MP2315



■ **Obrázek 7.6** Graf porovnání závislosti napětí baterie na uplynulém čase pro zapojení ASM1117 a MP2315



■ **Obrázek 7.7** Graf Soc a napětí baterie v čase při nabíjení ze solárního článku

7.4 Test nabití baterie solárním článkem

I když dokáže zařízení vydržet i několik týdnů bez externího napájení, je třeba jednou za čas baterie dobít. Zařízení se může vyskytovat ve vzdálených oblastech, kde není možnost dobít zařízení z elektrické sítě, protože není na místě dostupná. Jednou nabízející se alternativou je využití obnovitelných energií. Za použití solárního článku je možné nabít zařízení na místech, kde není elektrická rozvodová síť, stačí jen pár minut přímého slunečního světla.

Následující test se bude zabývat tím, jak rychle je možné dobít jeden bateriový článek (o kapacitě 2600 mAh) energií dodávanou ze solárního panelu. Použitý solární panel je neznámkový kus pořízený z internetového obchodu AliExpress za 350,- Kč. Solární panel o velikosti 175x120x9 mm, dokáže dodávat 5 V pod proudem maximálně až 600 mA. Z panelu je vyveden kabel o délce 3 metry a je zakončen microUSB typu samec. V balení produktu byl dodán i adaptér pro USB-C, takže je možné panel připojit k zařízení.

Test probíhal stejně jako test spotřeby zařízení 7.3. Pozměněn byl interval měření stavu baterie na 20 minut a k obvodu byl připojen solární panel. Test proběhl za ranních hodin při přímém slunečním svitu. Při spuštění testu bylo naměřeno SoC 5 %. Baterie byla nabita za 180 minut, kdy došlo k přerušení napájení modulem TP4056, aby se zabránilo přepětí na baterii. Naměřená data, Soc a napětí na baterii, je vykresleno v grafu 7.7;

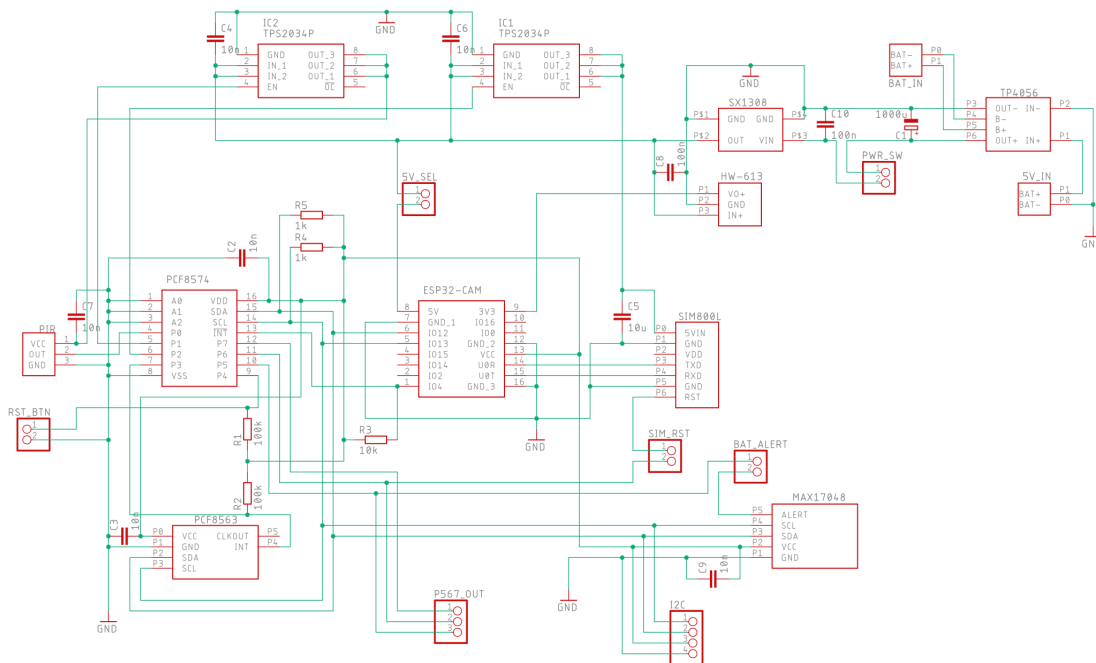
Závěr

Hlavním cílem práce bylo navrhnout a vytvořit kamerové zařízení schopné monitorovat vzdálený prostor pomocí modulů ESP32-CAM a SIM800L. Zařízení mělo umět pořizovat snímky a ty následně uložit a přeposlat na email uživateli. Také mělo umět přijímat SMS příkazy od uživatele. Dále měl být pro kamerové zařízení vytvořen plošný spoj a vhodné pouzdro.

V rámci bakalářské práce byl zhotoven dvouvrstvý plošný spoj pro kamerové zařízení splňující požadavky zadání. Pro osazený plošný spoj bylo vytvořeno pouzdro, do kterého může být zařízení umístěno. Dále byl pro ESP32-CAM vytvořen program, který řídil celé zařízení a pracoval s periferiemi. Zařízení bylo otestováno pro správné zapojení a funkčnost. Byl také proveden test doby běhu zařízení na bateriích a rychlost nabíjení ze solárního článku.

Výsledné vytvořené kamerové zařízení může sloužit pro monitorování vzdáleného prostoru a může být použito jako podklad pro další práce studentů, kteří by chtěli rozšířit funkce zařízení.

Schéma zapojení zařízení



■ Obrázek A.1 Schéma zapojení celého zařízení

Bibliografie

1. *Bunaty Full HD GSM + 32GB karta + kovový box + sim karta* [online]. Agence.cz [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://www.fotopasti-bunaty.cz/fotopasti-s-gsm/8-fotopast-bunaty-full-hd-gsm.html>.
2. *Fotopast Suntek HC 801A - Lemes* [online]. Lemes [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://www.lemes.cz/fotopast-suntek-hc-801a/>.
3. *ESP32* [online]. Espressif [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>.
4. *Support for external ram* [online]. Espressif [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-guides/external-ram.html>.
5. *ESP32-cam camera development board* [online]. Ai-Thinker [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://docs.ai-thinker.com/en/esp32-cam>.
6. HORAKH, Brian; BRANDÃO, Raphael. *ESP32-cam-ai-thinker/esp32cam-pin-notes.md at master · raphaelbs/ESP32-cam-ai-thinker* [online]. 2021-03. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://github.com/raphaelbs/esp32-cam-ai-thinker/blob/master/docs/esp32cam-pin-notes.md>.
7. *Conflicts Between Bootstrap and SDIO on DAT2* [online]. Espressif, 2022-04 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/sd_pullup_requirements.html.
8. KRČMÁŘ, Petr. *Mobilní sítě 2G tu s Námi Budou Minimálně do Roku 2028* [online]. Internet Info, s.r.o., 2021-12 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.root.cz/zpravicky/mobilni-site-2g-tu-s-nami-budou-minimalne-do-roku-2028/>.
9. NANDA, Umakanta; PATTNAIK, Sushant Kumar. Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART). In: *2016 3rd International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*. 2016, sv. 01, s. 1. Dostupné z DOI: 10.1109/ICACCS.2016.7586376.
10. MALÝ, Martin. *Hradla, volty, jednočipy*. úvod do bastlení. 1. vyd. Praha: CZ.NIC, z.s.p.o., 2017. ISBN 978-80-88168-26-3.
11. *PCF8563 RTC Board* [online]. Waveshare [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: https://www.waveshare.com/wiki/PCF8563_RTC_Board.
12. *TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8* [online]. NanJing Top Power ASIC Corp, 2008. [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>.

13. *SX1308 High Efficiency 1.2MHz 2A Step Up Converter* [online]. Sunrom Electronics, 2016. [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.sunrom.com/download/458.pdf>.
14. *POWER-DISTRIBUTION SWITCHES* [online]. Texas Instruments Incorporated, 2007. [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/gpn/tps2034>. Rev. C.
15. LÁSKA, Konstantin. *LaskaKit/MAX17048-fuel-gauge* [online]. [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://github.com/LaskaKit/MAX17048-Fuel-Gauge>.
16. *USB I2C SLAVE IC FT200XD* [online]. Future Technology Devices International Ltd., 2021. [cit. 2023-04-29]. Č. FT_000628. Dostupné z: https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2021/10/DS_FT200XD.pdf. Version 1.5.
17. PLATFORMIO LABS. *PlatformIO*. 2023. Ver. v3.1.1. Dostupné také z: <https://platformio.org/>.
18. MICROSOFT CORPORATION. *Visual Studio Code*. 2023. Ver. 1.77.3. Dostupné také z: <https://code.visualstudio.com/>.
19. ELTIMA SOFTWARE. *Advanced Serial Port Terminal*. 2023. Ver. 5.0. Dostupné také z: <https://www.eltima.com/products/serial-port-terminal/>.
20. AUTODESK, INC. *EAGLE*. 2020. Ver. 9.6.2. Dostupné také z: <https://www.autodesk.com/products/eagle>.
21. THE OPENSCAD DEVELOPERS. *OpenSCAD*. 2021. Ver. 2021.1. Dostupné také z: <https://opencad.org/>.
22. *SIM800 Series AT Command Manual* [online]. SIMCom, 2016. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: https://www.waveshare.com/w/upload/7/76/SIM800_Series_AT_Command_Manual_V1.10.pdf. V1.10.
23. *AMS1117 1A LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR* [online]. Advanced Monolithic Systems, Inc., 2009. [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>.
24. *MP2315 - 24V, 3A SYNC STEP DOWN CONVERTER* [online]. Monolithic Power Systems, 2014. [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: https://www.monolithicpower.com/en/documentview/productdocument/index/version/2/document_type/Datasheet/lang/en/sku/MP2315/document_id/513/. Rev. 1.01.

Obsah přiloženého média

readme.txt	stručný popis obsahu média
src	
├─ app	zdrojové kódy implementace
├─ eagle_project	složka s EAGLE soubory schématu a plošného spoje
├─ enclosure	Složka se soubory modelu pouzdra
├─ tests.zip	komprimovaná složka ZIP se zdrojovými soubory testů
├─ thesis	zdrojová forma práce ve formátu L ^A T _E X
text	text práce
├─ thesis.pdf	text práce ve formátu PDF