

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ

Ústav přístrojové a řídicí techniky



**RFID přenosný data kolektor
RFID mobile data collector**

Ordokov Eldiir

16.01.2023

Studijní program: Strojírenství

Studijní obor: Informační a automatizační technika

Vedoucí práce: Ing. Matouš Cejnek Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím zdrojů, které jsou všechny v práci uvedeny.

Datum

Podpis.....

Poděkování

Rád bych poděkoval pana Ing. Matouš Cejnek, Ph.D. za rady, připomínky a pomoc při zpracování bakalářské práce.

Abstrakt

Název diplomové práce je „Systém kontroly přístupu do budov CTU.

Tato diplomová práce obsahuje vysvětlující zprávu o 64 stranách, úvod, 31 obrázků, seznam 21 zdrojů, včetně 6 zdrojů v cizích jazycích.

Práce je rozdělena do několika logicky propojených částí: analýza stávajícího stavu, výběr komponent, vývoj softwaru a hardwaru a konstrukce zařízení.

Aktuálním problémem je kontrola návštěvníků v organizacích s vysokou frekvencí osob, což vyžaduje vývoj systému, který by nahradil zastaralé metody identifikace osob.

Práce se zabývá otázkami, jak zajistit kontrolu návštěvníků ve vzdělávacím zařízení s velkým počtem osob, jak uchovávat informace o návštěvnících a zabránit úniku dat.

Cílem práce je navrhnout zařízení schopné načíst kód z karty, odeslat požadavek na server, ovládat a přijímat data na dálku z jiných zařízení.

Klíčová slova

ESP8266MOD, Modul RFID-RC522, I2C display LCD 1602, Fritzing, Github, Převodník CP2102, Arduino, řízení.

Abstract

The title of the diploma thesis is "System of access control to CTU buildings."

This diploma thesis contains an explanatory report of 64 pages, an introduction, 31 figures, a list of 21 sources, including 6 sources in foreign languages.

The work is divided into several logically connected parts: analysis of the current state, selection of components, software and hardware development, and device construction.

The current problem is the control of visitors in organizations with a high frequency of people, which requires the development of a system that would replace outdated methods of identifying people.

The work deals with the questions of how to ensure the control of visitors in an educational facility with many people, how to store information about visitors and prevent data leakage.

The goal of the work is to design a device capable of reading the code from the card, sending a request to the server, controlling, and receiving data remotely from other devices.

Keywords

ESP8266MOD, RFID-RC522 module, I2C display LCD 1602, Fritzing, Github, CP2102 converter, Arduino, control.

Obsah

Úvod.....	8
1. ANALÝZA SYSTÉMŮ ŘÍZENÍ A ŘÍZENÍ PŘÍSTUPU	9
1.1. Definice a hlavní možnosti systémů řízení a správy přístupu.....	9
1.2. Formulace cíle a úkolů projektu.....	11
2. Strukturální schéma.....	12
2.1.Primární blokové schéma PlantUml	12
1.1.1. Nahrání karty uživatelem:	12
1.1.2. Stahování dat z ESP8266 přes web:	12
1.1.3. ESP8266 odesílá data na FTP:	13
3. Výběr komponent zařízení	13
3.1.Čtečka RFID a RFID značka	13
3.2.Hardwarová platforma.....	16
3.3. Popis a účel vývodů NodeMCU V3 ESP8266	17
3.3.1. GPIO (General Purpose Input Output)	17
3.3.2. Speciální piny:	18
3.3.3. Napájecí vývody	18
3.3.4. Řídicí piny	18
3.3.5. Komunikační rozhraní:	18
3.3.6. FLASH	19
3.4. Pájecí prkénko	20
3.5. Propojovací kabely.....	21
3.6. I2C 1602 LCD Display Module 16X2.....	21
4. Napájení zařízení	22

5. Kompletní blokové schéma.....	24
Vypracování schématu elektrického obvodu zařízení.....	25
5.1. Připojení NodeMCU ESP8266 k RFID MFRC522.....	25
6. Připojení Arduina k počítači.....	27
7. Arduino a sériový port UART	27
7. Softwarová část.....	28
7.1. Psaní programu pro mikrokontrolér	28
8. ESP8266 - mikrokontrolér s Wi-Fi rozhraním	30
9. Stanice a přístupový bod ESP8266	31
9.1.HTTP požadavek.....	37
10. Mobilní pravidelné odesílání shromážděných dat na vzdálený FTP server	38
10.1. Vzdálený přístup:.....	39
10.2. Zajištění bezpečnosti:.....	39
10.3. Výkon a spolehlivost:	39
11. Výhody a nevýhody FTP serveru	39
11.1. Nevýhody FTP serveru	39
11.2. Výhody FTP serveru.....	39
12. Mobilní kolektor musí fungovat jako server, ze kterého lze na požádání také stahovat data.	40
12. Schéma činnosti zařízení	40
13. Závěr k oddílu	41
14. Výroba celého zařízení	42
15. Závěr.....	43
16. Seznam použité literatury.....	44

Úvod

Kontrola návštěvníků v organizacích, jako jsou například školy, a ochrana údajů před krádeží patří v současné době mezi vážné problémy. Tradiční metody identifikace, které se spoléhají na pasy, průkazy nebo jiné papírové dokumenty, často nevyhovují moderním bezpečnostním požadavkům. Tyto metody také výrazně snižují průchodnost kontrolních bodů.

V oblasti fyzické bezpečnosti se termín „kontrola přístupu“ vztahuje k opatřením, která omezují přístup k majetku, budovám nebo místnostem, jež jsou přístupné pouze autorizovaným osobám. Fyzickou kontrolu přístupu lze zajistit s pomocí člověka (například ostrahy, vrátného nebo recepčního), mechanických prostředků, jako jsou zámky a klíče, nebo prostřednictvím technologických řešení, jako jsou systémy založené na přístupových kartách nebo biometrické identifikaci.

V současné době se zavádějí systémy, které pomocí senzorů identifikují návštěvníky rychleji a přesněji, minimalizují lidský faktor a mají za cíl zaznamenat neoprávněný přístup do areálu. Je důležité poznamenat, že takový systém může fungovat jak samostatně, tak ve spolupráci s dalšími bezpečnostními systémy.

Většina systémů kontroly přístupu je v současné době vyvíjena na základě mikrokontrolérů s proprietární architekturou, která vyžaduje, aby zákazník používal pouze zařízení a služby od jednoho výrobce. Existují však projekty na vývoj mikrokontrolérů, které jsou dostupné pod licencí svobodného softwaru. Jedním z takových projektů je Arduino – platforma určená pro návrh elektronických zařízení. Informace o charakteristikách a konstrukci desky jsou volně dostupné, což umožňuje její využití jakýmkoli vývojářem hardwaru. Díky možnosti přeprogramování desky a schopnosti snížit náklady na vývoj bylo rozhodnuto využít ji jako základ pro řídicí systém.

1. ANALÝZA SYSTÉMŮ ŘÍZENÍ A ŘÍZENÍ PŘÍSTUPU

1.1. Definice a hlavní možnosti systémů řízení a správy přístupu

Před zahájením analýzy stávajících systémů kontroly a řízení přístupu je nutné pochopit, proč je potřeba čtečka RFID.

Systémy kontroly a řízení přístupu (SKŘP) jsou souborem prostředků kontroly a řízení přístupu, které disponují technickou, informační, programovou a provozní kompatibilitou.

Taková formulace nám nedává plné porozumění celému konceptu zkoumaného pojmu. Pokud se podíváme na SKŘP širěji - jedná se o soubor vzájemně kompatibilních hardwarových a softwarových prostředků, jejichž cílem je omezení a registrace přístupu lidí, vozidel a dalších objektů do místností, budov, zón a areálů [1].

Většinou systémy SKŘP zahrnují:

- zařízení zabráňující přístupu (ZUP). Například turnikety, dveře vybavené ovládanými zámky, brány, závory, šleuzy;
- čtecí zařízení (ČZ), „čtečky“. Například zařízení pro rádiovou frekvenční identifikaci, daktyloskopické skenery, zařízení strojového vidění;
- kontroléry SKŘP. Elektronické mikroprocesorové moduly, které realizují autentizaci přístupových objektů, logiku autorizace pro přístup do určitých prostor a oblastí, řízení ZUP;

softwarové vybavení SKŘP. Nepovinný prvek, který umožňuje centralizované řízení kontrolérů SKŘP z osobního počítače (PC), tvorbu reportů, různé další funkce;

- konvertory média pro připojení hardwarových modulů SKŘP mezi sebou a k PC;
- pomocné neinteligentní vybavení (napájecí bloky, tlačítka), spojovací vodiče.

Jedním z důležitých pojmů pro pochopení funkčnosti SKŘP je identifikátor přístupu, nebo identifikátor (nositel identifikačního znaku): unikátní znak subjektu nebo přístupového objektu. Jako identifikátor může být použit zapamatovatelný kód, biometrický znak nebo hmotný kód. Identifikátor využívající hmotný kód - předmět, do kterého (na který) je pomocí speciální technologie vnesen identifikační znak ve formě kódové informace (karty, elektronické klíče, přívěsky a další zařízení).

V podmínkách individuálních specifik ekonomických subjektů je nutné možnosti SKŘP posuzovat diferencovaně s ohledem na potřeby každého. Analýzou potřeb bank/kanceláří lze vyčlenit individuální aspekty, které jsou pro průmyslové podniky/závody a státní objekty málo významné. Přesto všechny systémy SKŘP disponují základními funkcemi, které jsou do systému začleněny standardně:

- vedení a udržování databází uživatelů a karet/identifikátorů.
- uchovávání fotografií uživatelů v databázi.
- zaznamenávání data a času průchodu v databázi.

- nastavení úrovní přístupu.
- autonomní provoz systémových ovladačů při zachování základních řídicích funkcí v případě výpadku komunikace s počítačem.
- registrace a ukládání informací o událostech v energeticky nezávislé paměti regulátorů ACS.
- ukládání identifikačních znaků do systémové paměti pro případ poruchy a výpadku napájení.
- otevření UPU při čtení identifikačního znaku registrovaného v paměti systému.
- zákaz otevření řídicí jednotky při čtení identifikačního znaku, který není registrován v systémové paměti.



Obrázek 1: Identifikační metody [1]

Existují mnohé další funkce, které jsou více či méně důležité pro všechny spotřebitele, ale budeme se zabývat pouze jednou funkcí - čtením karty Mifare pro evidenci studijního času.

Evidenci studijního času. S pomocí softwarového doplňku SKŘP umožňuje administrátorovi zaznamenávat čas příchodu a odchodu studentů. Administrátor nebo speciálně určené osoby mohou přesně určit dobu pobytu studentů ve studijním prostředí. Na začátku dne systém pro evidenci studijního času integrovaný do SKŘP umožňuje vytvářet zprávy o studentech, kteří neprošli přes přístupové body. Funkce zjednodušuje postupy pro identifikaci studentů, kteří přišli pozdě nebo se na výuku nedostavili. To

umožňuje identifikovat studenty, kteří přišli pozdě nebo se nedostavili na studijní místo [2]. Flexibilita softwarových analytiků SKŘP umožňuje učitelům vytvářet potřebné zprávy.

Systémy kontroly a řízení přístupu (SKŘP) nejsou pouze pro evidenci studijního času, ale jsou také důležitou součástí bezpečnosti budov a organizací. V Evropě působí mnoho výrobců SKŘP, mezi které patří nejznámější:

Bosch Security Systems (Německo) - známá světová značka, která nabízí širokou škálu produktů pro bezpečnostní systémy, včetně SKŘP [3].

Siemens Building Technologies (Německo) - další přední světový hráč, který nabízí integrovaná řešení pro správu budov, včetně systémů kontroly přístupu [4].

Honeywell Security (zastoupení po celé Evropě) - mezinárodní výrobce, který nabízí různorodá řešení v oblasti bezpečnosti, včetně SKŘP [5].

Tyto společnosti nabízejí různá řešení, od jednoduchých systémů kontroly přístupu po komplexní integrované bezpečnostní systémy, včetně videonáhledu, alarmových systémů a dalších.

V rámci výzkumu systémů kontroly přístupu těchto společností bylo zjištěno, že moderní systémy mají takové nedostatky, jako jsou drahé zařízení, vysoké náklady na základní software, ukládání informací v databázi výrobce a složitost při používání komponent systémů různých společností. Odtud vyplývá, že je třeba vybrat cenově dostupné komponenty, zvolit způsob ukládání informací, vytvořit zařízení a software, které nezaostávají za základními funkcemi výše uvedených systémů.

1.2. Formulace cíle a úkolů projektu

Cílem práce je vyvinout prototyp zařízení a nezbytný software určený pro identifikaci návštěvníků vzdělávacího zařízení. Hlavními výhodami zařízení budou nízké náklady na komponenty a ukládání dat uvnitř mikrokontroléru, což umožní eliminaci úniku informací. Pro ukládání a ověřování informací se předpokládá použití databáze, pro zobrazení informací o návštěvníkovi bude použit LCD displej, pro čtení čísla karty - RFID modul.

Pro dosažení cíle práce je nutné splnit následující úkoly:

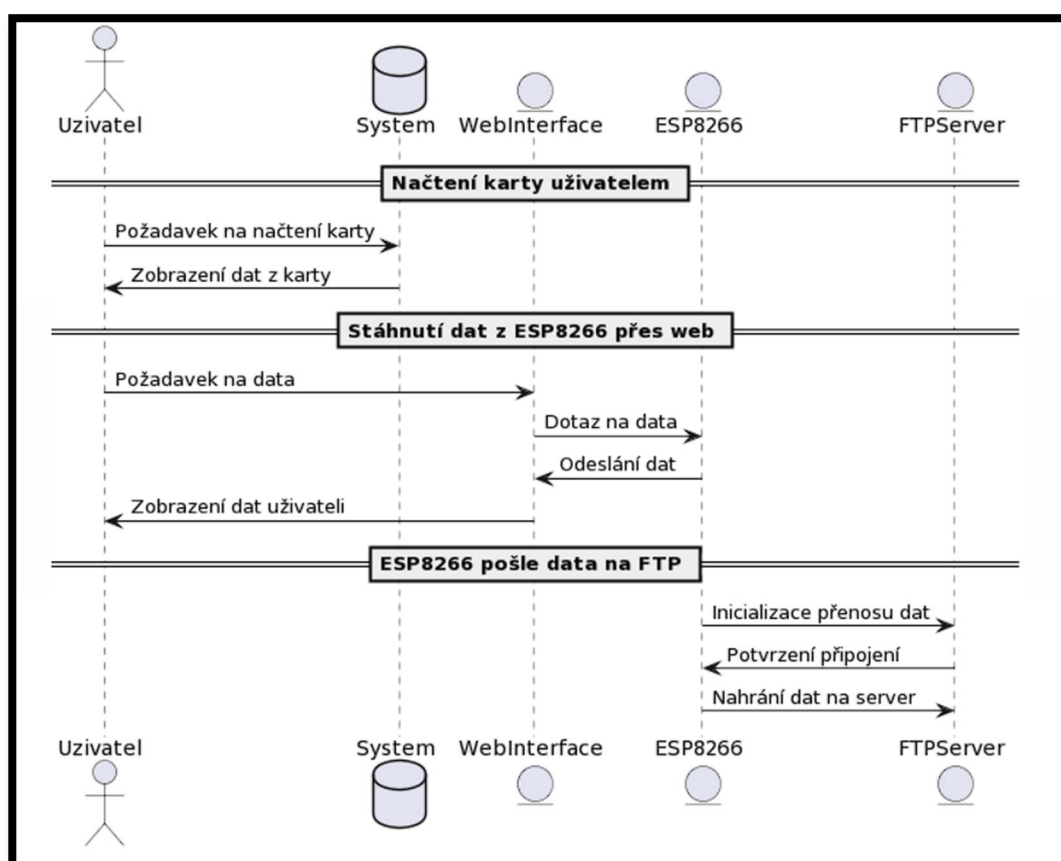
1. Přehled existujících systémů kontroly a řízení přístupu
2. Vypracování strukturálního a principiálního schématu připojení
3. Vyvinutí programů pro mikrokontrolér a PC

4. Vyvinutí celého zařízení

2. Strukturální schéma

2.1. Primární blokové schéma PlantUml

V souladu s předloženými cíli a požadavky bylo v programu plantuml vyvinuto primární blokové schéma systému, znázorněné na obrázku 2.



Obrázek 2: Kompletní blokové schéma PlantUML [autor]

UML diagram popisuje interakci mezi uživatelem, systémem, webovým rozhraním, modulem ESP8266 a FTP serverem. Schéma představuje soubor procesů:

1.1.1. Nahrání karty uživatelem:

Uživatel -> Systém: Uživatel požádá o nahrání dat z karty.

Systém -> Uživatel: Systém zobrazí uživateli data načtená z karty.

1.1.2. Stahování dat z ESP8266 přes web:

Uživatel -> Webové Rozhraní: Uživatel požaduje data přes webové rozhraní.

Webové Rozhraní -> ESP8266: Webové rozhraní požaduje data od modulu ESP8266.

ESP8266 -> Webové Rozhraní: Modul ESP8266 odesílá data zpět webovému rozhraní.

Webové Rozhraní -> Uživatel: Webové rozhraní zobrazuje data uživateli.

1.1.3. ESP8266 odesílá data na FTP:

ESP8266 -> FTP-Server: Modul ESP8266 iniciuje přenos dat na FTP server.

FTP-Server -> ESP8266: FTP server potvrzuje připojení modulu ESP8266.

ESP8266 -> FTP-Server: Modul ESP8266 nahrává data na server.

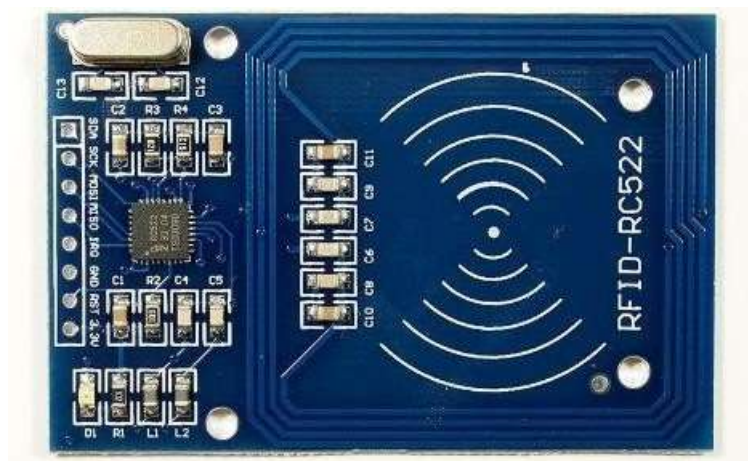
Tyto tři procesy popisují obecný pracovní tok, kde uživatel může jak požádat o data z karty prostřednictvím systému, tak získat data z modulu ESP8266 prostřednictvím webového rozhraní. Kromě toho může modul ESP8266 samostatně odesílat data pro ukládání dat nebo další zpracování na FTP server [6].

3. Výběr komponent zařízení

3.1. Čtečka RFID a RFID značka

Technologie RFID je technologie bezkontaktního přenosu dat, založená na využití rádiových frekvenčních elektromagnetických vln. RFID se využívá pro automatickou identifikaci a evidenci objektů. Typický RFID systém se skládá ze tří základních komponent: RFID značek, RFID čteček a softwaru [7].

Existují různé typy čteček, v tomto systému se používá portální RFID čtečka, která je určena pro registraci RFID značek v kontrolovaných průchodech. RFID-RC522 je vysoce integrovaná čtečka pro bezkontaktní komunikaci. Čtečka podporuje rozhraní SPI, UART a I2C, prostřednictvím kterých probíhá výměna dat s dalšími zařízeními [8]. Na desce modulu je pro vývody čipu zvoleno rozhraní SPI. Základem modulu je čip MFRC522.



Obrázek 3: RFID čtečka-RC522 [autor]

Čtečka RFID RC522 reaguje při přiblížení značky. Výměna dat probíhá prostřednictvím rámcových antén, které se nacházejí v kartě (značce) a v modulu. Signál modulu poskytuje energii pro značku. Může zpracovávat informace současně z několika značek.

Technické specifikace:

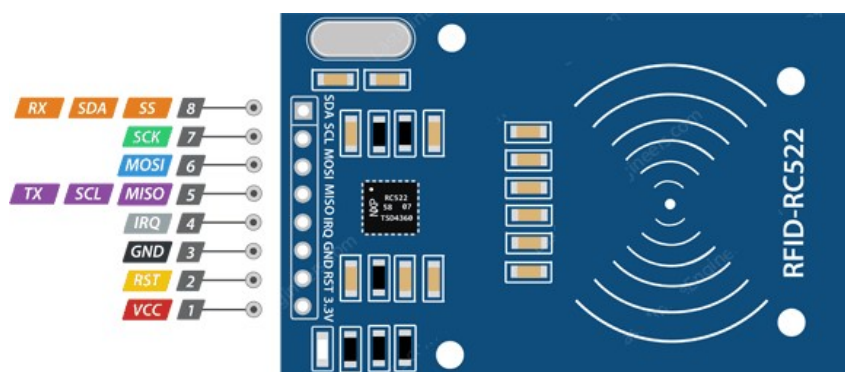
1. Napájecí napětí: 3,3 V;
2. Proudová spotřeba v režimech:
 - 2.1 Pohotovostní 80 μ A;
 - 2.2 Čekání 12 mA;
 - 2.3 Maximální 30 mA;
3. Pracovní frekvence: 13,56 MHz;
4. Dosah čtení 0-25 mm;
5. Rychlost přenosu dat:
 - 5.1 106 kbit/s;
 - 5.2 212 kbit/s;
 - 5.3 424 kbit/s;
 - 5.4 848 kbit/s;

Tato čtečka je vybavena RFID štítkem v pouzdře nebo ve formě klíčové karty.



Obrázek 4: RFID štítky v pouzdrech [autor]

Klíčenky a karty fungují na stejné frekvenci jako čtečky. Uvnitř se nachází anténa a čip Mifare S50 obsahující paměť o velikosti 1 kilobajt typu EEPROM. Jedinečnost karty Mifare je zajištěna tím, že výrobce přiřadí číslo, které slouží jako indikátor.



Obrázek 5: Pinout čtečky RC522 [9]

Napájení pro čtečku se přivádí na pin VCC. Napětí napájení se pohybuje v rozmezí od 2,5 do 3,3 V. VCC by mělo být připojeno k pinu 3v3, který se nachází na desce NodeMCU. Pin RST slouží pro reset a vypnutí napájení. Při přijetí signálu LOW (logická nula), dojde k restartování čtečky.

Pin GND – je zemní vývod.

IRQ – vývod pro přerušení, určený k probuzení zařízení, když se v blízkosti nachází RFID značka.

Vývod **MISO/SCL/TX** – slouží pro komunikaci pomocí protokolu SPI, I2C nebo UART. Tento vývod funguje buď jako MISO (Master In Slave Out) při aktivním rozhraní SPI, nebo jako sériový taktový signál při aktivním rozhraní I2C, nebo jako výstup sériových dat při aktivním rozhraní UART.

MOSI (Master Out Slave In) - je vstupní SPI pin pro čtečku RC522. MOSI slouží k přenosu dat od hlavního zařízení k podřízenému.

MISO - slouží k přenosu dat od podřízeného zařízení k hlavnímu.

Pin **SCK** přijímá hodinové impulsy poskytované hlavním zařízením na sběrnici SPI. Slouží pro synchronizaci.

Vývod **SS/SDA/Rx** funguje buď jako vstup, když je aktivní rozhraní SPI, nebo jako linka sériových dat, když je aktivní rozhraní I2C, nebo jako vstup sériových dat, když je aktivní rozhraní UART. Tento vývod je obvykle označen obdélníkem, aby sloužil jako referenční bod pro identifikaci ostatních pinů [9].

3.2. Hardwarová platforma

Z velké nabídky desek Arduino je možné vyzdvihnout dva modely, které by mohly být vhodné jako řídicí zařízení:

- Arduino Nano
- NodeMCU

NodeMCU je platforma založená na modulu ESP8266. Deska má prakticky podobné charakteristiky jako Arduino Nano, ale díky vestavěnému Wi-Fi modulu nabízí širší možnosti použití. Wi-Fi modul lze využít pro dálkové ovládání různých obvodů prostřednictvím přenosu signálu do lokální sítě nebo internetu.



Obrázek 6: Hardwarová platforma NodeMCU [autor]

Na přední straně desky se nachází konektor Micro USB, který se používá pro programování kontroleru. Tento konektor lze také použít pro napájení. Vedle konektoru se nacházejí dvě tlačítka: Flash a Reset. Tlačítko Flash se používá pro ladění, tlačítko Reset pro restartování desky.

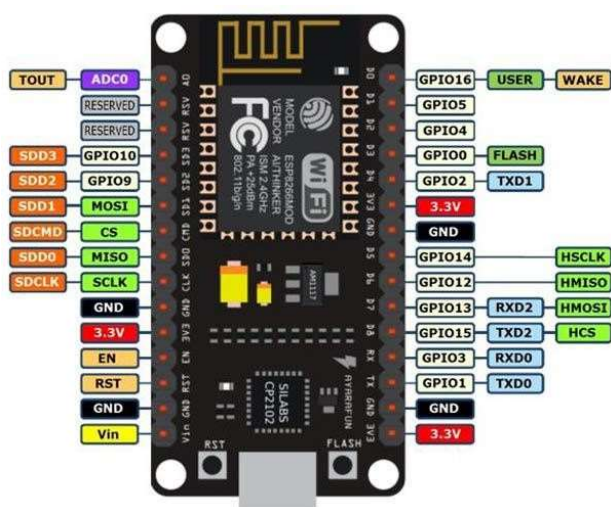
Technické specifikace modulu:

- Podpora Wi-Fi protokolu 802.11 b/g/n;
- Podporované režimy Wi-Fi – přístupový bod, klient;
- Vstupní napětí 3,7 V – 20 V;
- Pracovní napětí 3 V - 3,6 V;
- Maximální proud 220 mA;
- Vestavěný TCP/IP stack;
- Rozsah pracovních teplot od -40 °C do 125 °C;
- Frekvence 80 MHz, 32bitový procesor;
- Čas probuzení a odeslání paketů 22 ms;

- Vestavěný TR přepínač a PLL;

Přítomnost zesilovačů výkonu, regulátorů a systémů řízení napájení. Jako řídicí zařízení byly zváženy především desky Arduino Nano a NodeMCU, jelikož tyto desky mají kompaktní rozměry a splňují požadovanou funkcionalitu. Každá z desek disponuje dostatečným počtem vývodů pro připojení modulů. Nakonec byla vybrána deska NodeMCU, protože díky vestavěnému Wi-Fi modulu umožňuje přenos a příjem dat po síti a práci s ftp službou, a navíc nabízí rozšířené funkce [10].

Hardwarová deska NodeMCU



Obrázek 7: Pinout hardwarové desky NodeMCU [11]

3.3. Popis a účel vývodů NodeMCU V3 ESP8266

Digitální vstupy/výstupy (GPIO):

3.3.1. GPIO (General Purpose Input Output) - kontakty pro vstup/výstup obecného účelu. Mohou být konfigurovány jako vstupy nebo výstupy a programově přiřazeny k různým funkcím.

D0 (GPIO16): může být použit pro probuzení čipu z hlubokého spánku.

D1 (GPIO5): používá se pro I2C SCL.

D2 (GPIO4): používá se pro I2C SDA.

D3 (GPIO0): má integrovaný pull-up rezistor k napájení; používá se při spouštění pro programovací režim.

D4 (GPIO2): má integrovaný pull-up rezistor k napájení a je spojen s integrovanou LED diodou na většině desek NodeMCU.

D5 (GPIO14): používá se pro SPI SCLK.

D6 (GPIO12): používá se pro SPI MISO.

D7 (GPIO13): používá se pro SPI MOSI.

D8 (GPIO15): má integrovaný pull-down rezistor k zemi; používá se pro SPI SS. Tento pin by měl být při zapnutí spojen se zemí pro normální spuštění.

D9 (RX, GPIO3): přijímač pro UART. Může být použit jako GPIO.

D10 (TX, GPIO1): vysílač pro UART. Může být použit jako GPIO.

3.3.2. Speciální piny:

SD2, SD3 (GPIO9 a GPIO10): používány v některých modelech ESP8266 pro připojení k interní flash paměti. Na většině desek NodeMCU nejsou tyto piny dostupné.

ADC0 / TOUT – pin integrovaného 10-bitového analogově-digitálního převodníku (ADC). Převedené hodnoty se pohybují v rozsahu 0-1023. Vývojová deska NodeMCU V2 má interní dělič napětí, vstupní rozsah ADC je 0 - 3,3 V.

A0: Analogový vstup, podporuje vstupní napětí do 3.3 V.

GND – společný vodič, „zem“.

3.3.3. Napájecí vývody

Vin – pin pro připojení externího zdroje napájení 5V. Stabilizátor AMS1117-3.3 umožňuje připojení napájení na Vin v širokém rozsahu od 5 do 10 V. I když stabilizátor umožňuje vyšší napětí (až 15 V), bez dodatečného chlazení může dojít k přehřátí čipu.

3.3V – pin, na který je přivedeno výstupní napětí vnitřního stabilizátoru. Může být použit pro napájení senzorů připojených k desce. Celková maximální zátěž všech vývodů 3.3V by neměla přesáhnout 300mA.

USB – pin, na který je přivedeno napětí 5V z USB konektoru.

3.3.4. Řídicí piny

RST (Reset) – pin používaný pro reset mikrokontroléru ESP8266.

EN (Chip Enable) – při přivedení signálu vysoké úrovně na tento pin, mikrokontrolér ESP8266 přechází do pracovního režimu, při signálu nízké úrovně do režimu úspory energie.

WAKE – pin používaný pro probuzení čipu ESP8266 z režimu hlubokého spánku (deep-sleep mode).

3.3.5. Komunikační rozhraní:

SPI (Serial Peripheral Interface) - sériové periferní rozhraní. NodeMCU má dva SPI (SPI a HSPI) v režimech master a slave.

SPI: přes piny D5 (SCLK), D6 (MISO), D7 (MOSI), D8 (SS) pro hardwarové SPI.

SDIO – rozhraní pro bezpečné digitální vstupy/výstupy, určené pro komunikaci s externí flash pamětí standardu SD přes sériovou sběrnici.

Rozhraní I2C – sériová asymetrická sběrnice. I2C se používá pro připojení senzorů a periferních zařízení. NodeMCU ESP8266 nemá hardwarové piny pro I2C, ale rozhraní lze implementovat softwarově. Podporuje se jak I2C Master, tak I2C Slave. Obvykle se jako piny I2C používají následující vývody.

GPIO5: SCL

GPIO4: SDA

3.3.6. FLASH

Tlačítko Flash na NodeMCU připojuje GPIO0 k zemi. Může být použito jako běžné tlačítko. Pokud je programově připojen pin GPIO0 pomocí interního pull-up rezistoru k vysoké úrovni, nízká úroveň na tomto pinu znamená, že bylo tlačítko stisknuto.

PWM (pulse-width modulation) – šířková impulzní modulace (PWM) řídí výkon metodou pulzujícího zapínání a vypínání pinu. NodeMCU podporuje softwarový PWM na pinech označených na obrázku zakřivenou čarou.

Deska má pouze jednu integrovanou LED diodu. Je připojena k GPIO2.

UART: asynchronní sériové rozhraní umožňuje komunikaci s jinými zařízeními přes sběrnici UART [11].



Obrázek 8: Převodník CP2102 (univerzální adaptéry pro připojení ESP modulů k počítači)

Stabilizátor napětí CP2102 přijímá vyšší vstupní napětí (například 5V z USB portu) a převádí ho na nižší stabilizované výstupní napětí (3.3V), které je potřebné pro ESP8266.

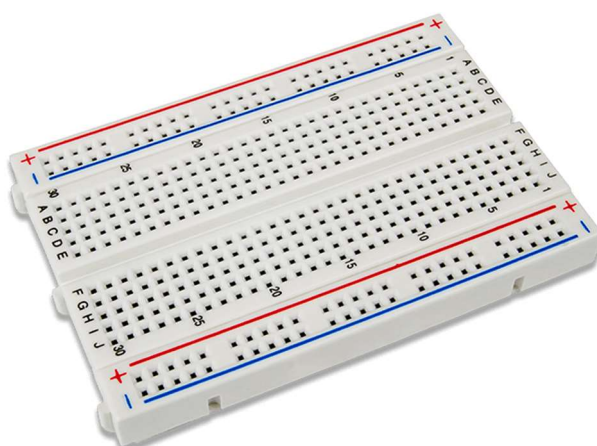
Použití stabilizátoru napětí chrání ESP8266 před poškozením, které by mohlo být způsobeno příliš vysokým napětím. Stabilizátor zajišťuje stabilní napájecí napětí i při kolísání napětí na vstupu, což je klíčové pro stabilní provoz mikrokontroléru.

Deska NodeMCU založená na ESP8266 obvykle obsahuje interní dělič napětí pro analogový vstup (ADC). To je dáno tím, že ESP8266 podle svých specifikací podporuje

maximální napětí na analogovém vstupu přibližně 1V, zatímco mnoho uživatelských aplikací vyžaduje měření napětí v širším rozsahu [12].

3.4. Pájecí prkénko

K sestavení prkénka na krájení zařízení bez použití páječky bylo řešením použít nepájivé prkénko. Takové desky se v anglicky mluvícím prostředí nazývají Breadboard. Vývojová deska se skládá z ABS plastového pouzdra obsahujícího rozebíratelné spoje, které připomínají dvojité kovové tyče, mezi kterými je sevřen vodič. Na přední části pouzdra jsou očíslované a označené otvory, do kterých lze vložit vodiče, nožky mikroobvodů, tranzistory a další rádiové komponenty v pouzdrech s přívody.



Obrázek 9: Arduino Breadboard [autor]

Na uvažované desce plošných spojů jsou vnější dva sloupce otvorů na každé straně vertikálně kombinovány se společnými sběrnici, z nichž se obvykle tvoří kladná sběrnice zdroje a minus (společná sběrnice). Obvykle je označen červeným a modrým pruhem podél okraje desky, plus a mínus. Střední část desky je rozdělena na dvě části, každá část je na této konkrétní desce spojena v řadě pěti otvorů v řadě.

Princip připojení je následující: do otvorů vložíme nožičky elektronických součástek a propojky, spojíme díly dohromady podél vodorovných linií a napájíme z nejkrajnějších svislých čar.

Rozhodnutí o použití nepájivých prkének padlo z důvodu jednoduchosti obvodu, který nekladal vysoké nároky na elektrické zapojení a přesnost, automatizaci a digitální obvody a také vysokonapěťový provoz [13].

3.5. Propojovací kabely

Propojovací kabely Dupont jsou nezbytné pro prototypování elektronických projektů, včetně těch, které využívají platformu Arduino a další systémy mikrokontrolérů. Tyto kabely poskytují rychlé a flexibilní spojení mezi různými elektronickými součástmi, jako jsou senzory, přepínače, displeje a mezi kontaktními plochami a vývojovými deskami.



Obrázek 10: Connecting cables [autor]

Kabely Dupont jsou k dispozici v mnoha stylech, včetně zástrček, zásuvek a kombinovaných konektorů, což vám umožní snadno připojit prakticky jakoukoli elektronickou součást bez nutnosti pájení.

V kontextu návrhu elektronických zařízení a prototypování zjednodušují kabely Dupont proces testování a ladění tím, že poskytují snadno odpojitelné připojení, které lze rychle změnit nebo upravit. Díky své všestrannosti a snadnému použití jsou kabely Dupont považovány za nedílnou součást laboratorní, výzkumných center a vzdělávacích institucí zabývajících se elektronikou a robotikou.

3.6. I2C 1602 LCD Display Module 16X2

Displej I2C 1602 LCD je znakový displej z tekutých krystalů schopný zobrazit 16 znaků v každém ze dvou řádků. Použití rozhraní I2C (Inter-Integrated Circuit) umožňuje ovládat displej pomocí pouhých dvou vodičů, což výrazně zjednodušuje připojení k mikrokontrolérům jako je ESP8266 a minimalizuje počet použitých GPIO pinů.

Rozhraní I2C zahrnuje dvě hlavní linky: SDA (Serial Data Line) a SCL (Serial Clock Line). Linka SDA se používá k přenosu dat mezi zařízeními na sběrnici I2C, zatímco SCL poskytuje hodinové impulsy, které tento přenos dat koordinují. Každé zařízení na sběrnici I2C má jedinečnou adresu, což umožňuje mikrokontroléru komunikovat s konkrétním zařízením bez rušení ostatních připojených zařízení.



Obrázek 11: I2C displej LCD 1602 [14]

Displej I2C 1602 má obvykle modul I2C, buď již integrovaný na desce, nebo zapojený samostatně, který má na desce čip pro převod I2C signálů na paralelní pro řízení LCD displeje. To umožňuje vývojářům odesílat příkazy a data pro zobrazení textu pomocí standardních knihoven dostupných pro mnoho vývojových platforem.

V projektu diplomové práce je LCD displej použit pro zobrazení informací přijatých z mikrokontroléru ESP8266, jako je stav Wi-Fi připojení, výsledky čtení z RFID modulu MFRC522 nebo jiné důležité informace pro uživatele. Připojení displeje přes I2C výrazně zjednodušuje zapojení obvodů a programování snížením počtu potřebných vodičů a zjednodušením kódu ovládání displeje.

Znakové LCD displeje, jako je I2C 1602, nabízejí nízkou spotřebu energie a vysokou spolehlivost, díky čemuž jsou ideální volbou pro různé aplikace, které vyžadují vizuální, jasné zobrazení informací v reálném čase [14].

4. Napájení zařízení

Mikrokontrolér ESP8266 může být napájen z různých zdrojů v závislosti na konkrétní aplikaci a požadovaném výkonu. Zde jsou hlavní možnosti napájení:

USB napájení: ESP8266 je často napájeno přes USB při připojení k počítači nebo USB adaptéru. Napětí USB je obvykle 5 voltů.

Baterie: Mikrokontrolér může být napájen z baterií. To mohou být AA nebo AAA baterie, lithium-iontové nebo lithium-polymerové akumulátory. Je důležité zajistit správné napětí a stabilitu proudu. ESP8266 obvykle vyžaduje 3,3 volta.

Stabilizované zdroje napájení: Pokud máte zdroj napájení, který může poskytnout stabilní 3,3 volta, je to ideální volba pro ESP8266. Je nutné zajistit, aby napětí nepřekročilo 3,6 volta, protože to může zařízení poškodit.

Regulátory napětí: Pokud zdroj napájení poskytuje vyšší napětí, než je potřeba (například 5V z USB nebo 12V z jiných zdrojů), lze použít regulátor napětí pro snížení na 3,3 volta [8].



Obrázek 12: Baterie Samsung ICR18650-22E [15]

V rámci této diplomové práce byl jako zdroj napájení pro mikrokontrolér ESP8266 zvolen notebook. Toto rozhodnutí bylo motivováno několika klíčovými faktory, které jsou rozhodující pro úspěšnou realizaci projektu:

Stabilita napětí a proudu: Notebook poskytuje stabilní výstupní proud přes USB port, což je velmi důležité pro spolehlivou funkci ESP8266. Vzhledem k tomu, že mikrokontrolér je citlivý na kolísání napětí, použití notebooku jako zdroje napájení zaručuje absence náhlých skoků napětí, které by mohly zařízení poškodit.

Pohodlí připojení a nastavení: Notebook nabízí pohodlný způsob, jak připojit ESP8266 přes USB port, což zjednodušuje proces programování a ladění mikrokontroléru. USB rozhraní umožňuje nejen napájet mikrokontrolér, ale také zajišťuje jeho komunikaci s vyvíjeným softwarem.

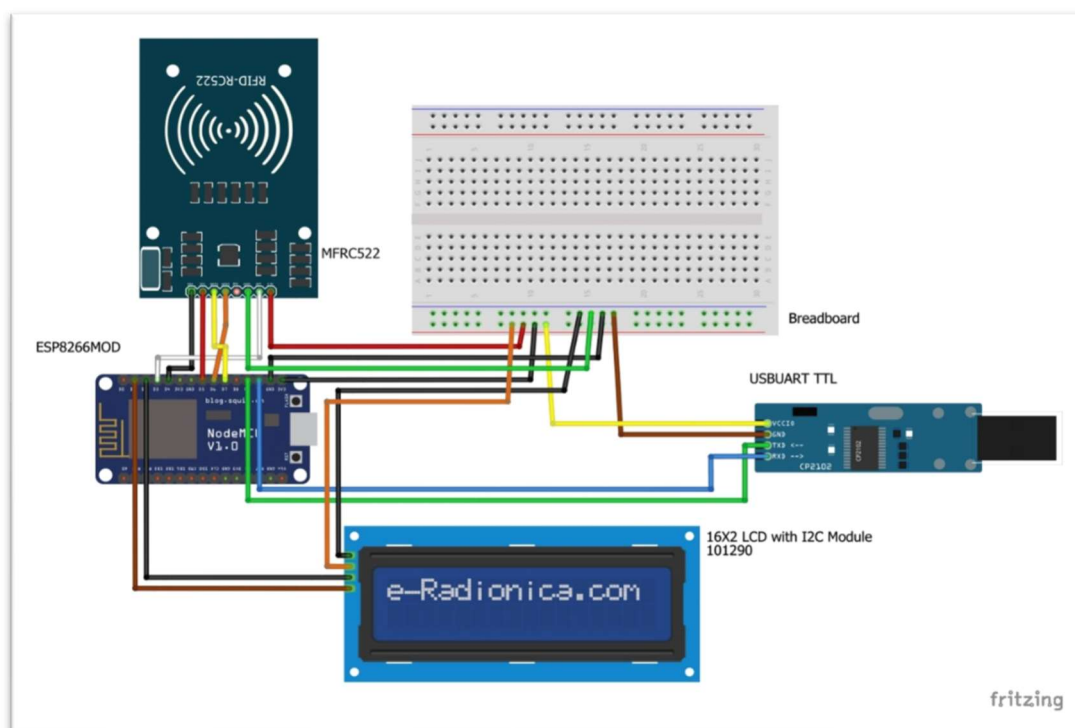
Firmware a programování: Důležitým aspektem použití notebooku je možnost firmware ESP8266. Proces programování vyžaduje nejen elektrické napájení, ale i data přenášená přes USB port. Notebook umožňuje snadno nahrávat firmware a provádět nezbytné testy, což zajišťuje efektivní vývojový proces.

Mobilita a dostupnost: Použití notebooku jako zdroje napájení poskytuje vysokou míru mobility. To umožňuje provádět vývoj a testování v různých podmínkách bez nutnosti připojení k pevným zdrojům napájení.

Závěrem, výběr notebooku jako zdroje napájení pro ESP8266 v této diplomové práci je odůvodněn potřebou zajištění stabilního napájení, pohodlí během vývoje a programování, stejně jako flexibilitou a mobilitou pracovního procesu. Toto řešení přispívá k efektivní realizaci projektu a dosažení stanovených cílů [15].

implementováno tak, aby byla zajištěna komunikace mezi těmito zařízeními za účelem identifikace a zobrazení informací [16].

Vypracování schématu elektrického obvodu zařízení



Obrázek 14: Device connection diagram developed in the program Fritzing.

5.1. Připojení NodeMCU ESP8266 k RFID MFRC522

Pin D4 na NodeMCU je připojen k pinu SDA/SS na MFRC522, který slouží pro výběr aktivního zařízení na sběrnici SPI.

Pin D5 na NodeMCU je spojen s pinem SCK na MFRC522, poskytující synchronizační signály hodin pro SPI spojení.

Pin D7 na NodeMCU je připojen k pinu MOSI na MFRC522, zajišťující přenos dat od mikrokontroléru k RFID modulu.

Pin D6 na NodeMCU je spojen s pinem MISO na MFRC522, umožňující přenos dat od RFID modulu k mikrokontroléru.

Piny GND (zem) obou zařízení jsou spojeny, aby byla zajištěna společná zemní bod.

Pin D3 na NodeMCU je připojen k pinu RST na MFRC522, který se používá pro resetování RFID modulu.

Pin označený jako 3V nebo 3V3 na NodeMCU je spojen s pinem 3.3V na MFRC522 pro napájení modulu.

Připojení NodeMCU ESP8266 k LCD 1602:

Pin D2 na NodeMCU je spojen s pinem SDA na LCD displeji, což slouží pro přenos dat na sběrnici I2C.

Pin D1 na NodeMCU je připojen k pinu SCL na LCD displeji, který poskytuje synchronizaci přenosu dat přes I2C.

Piny GND obou zařízení jsou spojeny, zajišťující společný zemní obvod.

Pin VV nebo VCC na NodeMCU je spojen s pinem VCC na LCD displeji pro zajištění elektrického napájení.

Připojení USB TTL CP2102 k ESP8266:

Pin GND na USB TTL je spojen s pinem GND na ESP8266 pro vytvoření společného zemního bodu.

Pin 3V nebo 3V3 na USB TTL je připojen k pinu 3.3V na ESP8266, poskytující potřebné napájení pro mikrokontrolér.

Pin TX na USB TTL je spojen s pinem RX na ESP8266, umožňující přenos dat z USB do mikrokontroléru.

Pin RX na USB TTL je připojen k pinu TX na ESP8266, zajišťující přenos dat od mikrokontroléru k USB.

Každé z těchto připojení je kriticky důležité pro fungování systému: zajišťují nejen elektrické napájení komponent, ale i obousměrný přenos dat mezi zařízeními. Správné provedení těchto připojení je klíčové pro fungování vyvíjeného systému.

Logika připojení zařízení:

NodeMCU ESP8266 to RFID MFRC522

D4 <————> **SDA/SS**
D5 <————> **SCK**
D7 <————> **MOSI**
D6 <————> **MISO**
GND <————> **GND**
D3 <————> **RST**
3V/3V3 <————> **3.3V**

NodeMCU ESP8266 to LCD 1602:

• **D2** <————> **SDA**
• **D1** <————> **SCL**
• **GND** <————> **GND**

• **VV or VCC** <————> **VCC**

USB TTL to esp8266:

• **GND** <————> **GND**

• **3V/3V3** <————> **3.3V**

TX <————> **RX**

RX <————> **TX**

Zařízení založené na platformě NodeMCU se skládá z následujících bloků:

- čtečka RFID-RC522
- Hardwarová platforma NodeMCU
- USB TTL CP2102
- LCD displej

6. Připojení Arduina k počítači

Arduino se k počítači připojuje pomocí USB. U modelu Arduino NodeMCU je to implementováno pomocí čipu FT232R nebo jeho ekvivalentu CH340. Tyto součástky nejsou mikrokontroléry, ale převodníky úrovní signálů, což usnadňuje vlastnoruční sestavení Arduino NodeMCU od základů.

Vzhledem k tomu, že deska ESP8266 pracuje na napětí 3,3 V a je napájena přes micro-USB připojení na 5 V prostřednictvím 3,3 V napěťového regulátoru nebo přímo z pinu 3,3 V, piny nevydrží externí napětí 5 V. Maximální proud dodávaný z jednoho pinu je 12 mA, což vedlo k rozhodnutí použít USB-UART jako převodník napětí. Nejjednodušší převodníky CH340, CPL2102 a FT232R jsou dostupné ve verzích pro 3,3 V a 5 V a často obsahují jumper pro přepnutí napájecího napětí. Pro zprovoznění bylo nutné nainstalovat ovladač CP210x USB-to-UART bridge pro desku NodeMCU ESP8266 [10].

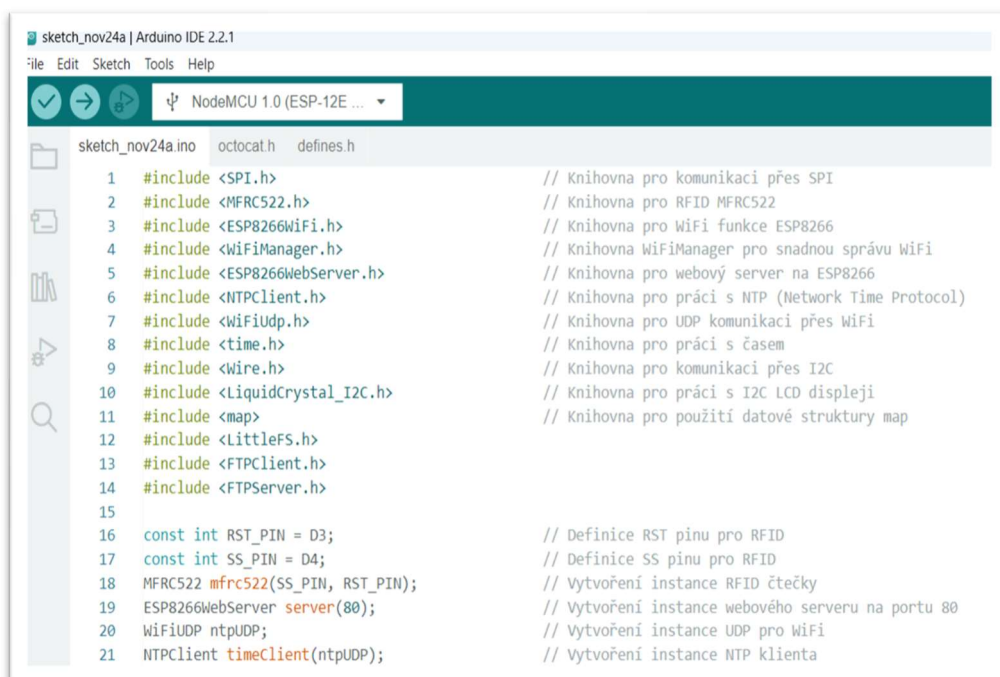
7. Arduino a sériový port UART

Protokol komunikace přes sériový port UART umožňuje dvoustrannou výměnu dat mezi dvěma zařízeními. Oba účastníci komunikace jsou na stejné úrovni, což znamená, že není stanoveno rozdělení na hlavní (master) a vedlejší (slave) zařízení. Pro přenos dat jsou potřeba jen dvě vodiče: jeden slouží k přenosu dat od prvního zařízení k druhému a druhý v opačném směru. Na mikrokontroléru jsou pro tento účel vyhrazeny dva piny, označované jako TX (transmit, vysílací) a RX (receive, přijímací). Přenosové linky spojují TX pin prvního zařízení s RX pinem druhého a naopak. Arduino Uno je vybaveno jedním hardwarovým sériovým portem připojeným k USB portu. Arduino Mega poskytuje tři další sériové porty [17].

7. Softwarová část

7.1. Psaní programu pro mikrokontrolér

Vývoj vlastních aplikací založených na deskách kompatibilních s architekturou Arduino probíhá v bezplatném vývojovém prostředí Arduino IDE. Prostředí je navrženo pro zápis, kompilaci a nahrávání vlastních programů do paměti mikrokontroléru, instalovaného na desce kompatibilní s Arduino. Hlavním vývojovým prostředím je jazyk Processing/Wiring — jedná se v podstatě o běžný jazyk C++, doplněný o jednoduché a intuitivní funkce pro ovládání vstupu/výstupu na kontaktech. Existují verze prostředí pro operační systémy Windows, Mac OS a Linux.



Obrázek 15: Arduino IDE interface [autor]

Pro napsání softwarové části bylo rozhodnuto použít integrované vývojové prostředí Arduino IDE 2.2.1.

Nová hlavní verze Arduino IDE 2.2.1 se stala rychlejší a ještě výkonnější. Kromě modernějšího editoru a citlivějšího rozhraní má automatické dokončování, navigaci v kódu a dokonce i živý debugger [18].

Nová hlavní verze Arduino IDE se stala rychlejší a ještě výkonnější! Kromě modernějšího editoru a citlivějšího rozhraní má automatické dokončování, navigaci v kódu a dokonce i živý debugger.

Možnosti programovacího prostředí Arduino lze výrazně rozšířit pomocí knihoven. Knihovny rozšiřují funkcionalitu programů a nesou další funkce - například pro práci s hardwarem, funkce zpracování dat apod. Řada knihoven se instaluje automaticky spolu s vývojovým prostředím, ale můžete si stáhnout i další knihovny nebo si vytvořit vlastní. Používání knihoven výrazně zjednodušuje práci na projektech, protože umožňuje

soustředit se na hlavní logiku programu bez plýtvání časem na mnoho detailů.

Pro implementaci softwarové části práce byly z platformy Arduino staženy potřebné knihovny.

`#include <SPI.h>`: Knihovna SPI umožňuje interakci se zařízeními SPI (sériové periferní rozhraní), jako jsou senzory a karty SD. Jedná se o digitální komunikační protokol používaný mikrokontroléry k rychlé komunikaci s jedním nebo více zařízeními na krátké vzdálenosti.

`#include <MFRC522.h>`: Tato knihovna se používá k propojení se čtečkou RFID MFRC522. Umožňuje číst a zapisovat RFID tagy, které se často používají v systémech kontroly přístupu.

`#include <ESP8266WiFi.h>`: Tato knihovna je specifická pro čipovou sadu ESP8266 a používá se ke správě integrované Wi-Fi. Poskytuje možnost připojení mikrokontroléru k síti Wi-Fi nebo vytvoření vlastní sítě.

`#include <WiFiManager.h>`: WiFiManager je knihovna, která umožňuje spravovat připojení Wi-Fi. Můžete jej použít ke správě uložených sítí, připojení k novým sítím nebo dokonce k nastavení zařízení jako hotspotu.

`#include <ESP8266WebServer.h>`: Tato knihovna umožňuje ESP8266 fungovat jako webový server. Můžete definovat koncové body a obsluhovat stránky HTML nebo jiné odpovědi HTTP.

`#include <NTPClient.h>`: Klient Network Time Protocol (NTP) se používá k synchronizaci času mikrokontroléru s internetovým časovým serverem. To je užitečné pro aplikace, které potřebují udržovat přesný čas.

`#include <WiFiUdp.h>`: Knihovna WiFiUDP se používá k odesílání a přijímání paketů UDP přes Wi-Fi. UDP je komunikační protokol, který umožňuje odesílat zprávy bez předchozího navázání spojení s příjemcem.

`#include <time.h>`: Toto je standardní knihovna C pro funkce související s časem. Umožňuje převádět formáty času, provádět aritmetiku času a získat aktuální čas a datum.

`#include <Wire.h>`: Knihovna Wire se používá pro komunikaci I2C (inter-integrated circuit). I2C je komunikační protokol běžně používaný mikrokontroléry pro komunikaci se senzory a dalšími zařízeními.

`#include <LiquidCrystal_I2C.h>`: Používá se k ovládání I2C LCD. Umožňuje zobrazovat text na displeji pomocí komunikačního protokolu I2C.

`#include <map>`: Knihovna C++, která poskytuje datovou strukturu pro ukládání párů klíč-hodnota. Často se používá k vytvoření vyhledávací tabulky nebo slovníku.

`#include <LittleFS.h>`: LittleFS je knihovna systému souborů pro práci se soubory ve flash paměti ESP8266. To je užitečné pro ukládání dat po restartování nebo pro poskytování souborů přes webový server.

`#include <FTPClient.h>`: Řídí FTP (File Transfer Protocol) komunikaci a umožňuje ESP8266 připojit se k FTP serveru a nahrávat nebo stahovat soubory.

`#include <FTPServer.h>`: Používá se k vytvoření FTP serveru na ESP8266, což umožňuje dalším zařízením připojit se k ESP8266 a nahrávat nebo stahovat soubory.

Společně tyto knihovny poskytují robustní základ pro vytvoření zařízení připojeného k síti, které dokáže číst RFID tagy, obsluhovat webové stránky, spravovat soubory a ukládat přesný čas. Kód funguje pro docházkový systém, který k identifikaci využívá RFID a pro připojení k síti využívá Wi-Fi [19].

Po připojení všech potřebných knihoven můžeme začít psát program. Psaní programu bylo pro pohodlí rozděleno do částí.

Pro mikrokontrolér je potřeba napsat program, který bude reagovat na RFID kartu obsahující unikátní 12místný kód přinesený do modulu. Mikrokontrolér odešle přijatý kód do PC pomocí WIFI modulu, který se připojí k routeru, a pokud není přístupový bod, vytvoří si vlastní přístupový bod.

8. ESP8266 - mikrokontrolér s Wi-Fi rozhraním

Wi-Fi moduly ESP8266 jsou plnohodnotné 32bitové mikrokontroléry s vlastními sadami GPIO, včetně podpory sběrnic SPI, UART a I²C. Tyto moduly se skládají z minimálního počtu součástek: samotného čipu ESP8266, flash paměti a křemíkového oscilátoru. Charakteristiky těchto modulů jsou prezentovány v tabulce charakteristiky modulů ESP8266.

V současnosti je vyráběno více než 12 modifikací ESP8266 modulových desek, které se liší počtem pinů a variantami provedení. Moduly jsou nabízeny s předinstalovaným firmwarem, který tvoří Wi-Fi - UART most pro připojení k jinému mikrokontroléru, včetně Arduino. Nastavení spojení a výměna dat jsou prováděny pomocí AT příkazů. Existují dva způsoby práce s modulem ESP8266:

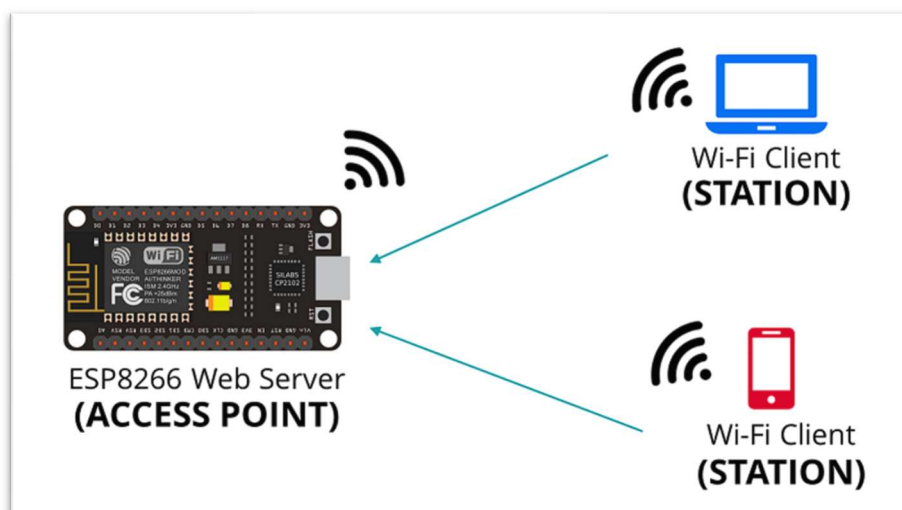
- Použití ve spojení s deskou Arduino, která bude modul ovládat přes UART.
- Vytvoření vlastního firmware pro modul ESP8266 a jeho použití jako samostatného zařízení.

Tabulka charakteristiky modulů ESP8266 [20]

Podporované typy šifrování	WEP, WPA, WPA2
Podporované provozní režimy	Klient (STA), přístupový bod (AP), klient+přístupový bod (STA+AP)
Napájecí napětí	1,7–3,6 V
Aktuální spotřeba	70 mA (špička 240 mA)
Počet dostupných pinů	4–10
Externí flash paměť	512 kB
Data RAM	80 kB
Pokyny pro RAM	32 kB
Teplotní režim	Od –40 do +70 °C

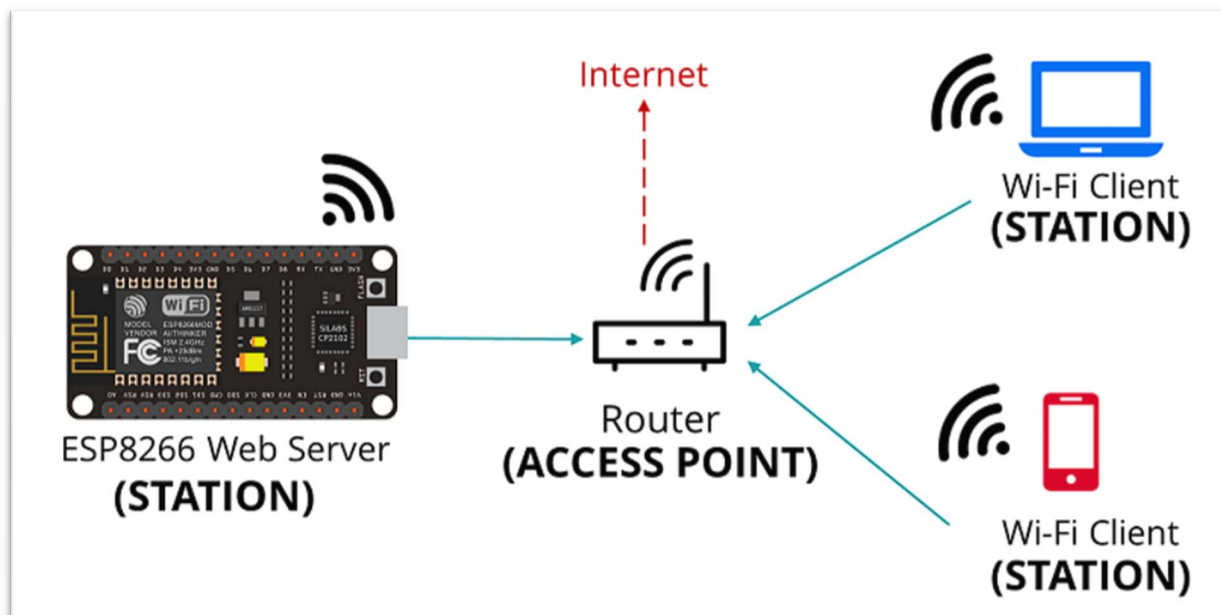
9. Stanice a přístupový bod ESP8266

Ve většině našich projektů webového serveru ESP8266 NodeMCU připojujeme ESP8266 k bezdrátovému routeru. V této konfiguraci můžeme přistupovat k ESP8266 přes LAN. V tomto scénáři router funguje jako přístupový bod a ESP8266 je nainstalován jako stanice. Chcete-li tedy ovládat ESP8266, musíte se připojit k routeru (LAN).



Obrázek 16: ESP8266 station and access point [21]

V některých případech to nemusí být nejlepší konfigurace (pokud v blízkosti není router). Pokud ale nakonfigurujeme ESP8266 jako hotspot (přístupový bod), můžeme se k ESP8266 připojit pomocí jakéhokoli zařízení s Wi-Fi možnostmi bez nutnosti připojení k routeru.



Obrázek 17: ESP8266 as an access point [21]

Jednoduše řečeno, když nainstalujeme ESP8266 jako přístupový bod, vytvoříme si vlastní Wi-Fi síť a mohou se k ní připojit blízká Wi-Fi zařízení (stanice) (například náš smartphone nebo počítač).

V této části práce nakonfigurujeme ESP8266 jako přístupový bod v našich projektech webového serveru. Tímto způsobem se k ovládání ESP8266 nepotřebujeme připojovat k routeru.

Protože se ESP8266 dále nepřipojuje ke kabelové síti (jako je router), nazývá se soft-AP (soft access point). To znamená, že pokud se pokusíme stáhnout knihovny nebo použít firmware z internetu, nebude to fungovat. Nebude také fungovat, pokud se pokusíme odeslat požadavky HTTP službám na internetu, jako je například návštěva naší stránky a přiložení karty [21].

Tato část zobrazuje kód, který je zodpovědný za připojení modulu sítě WIFI přímo k routeru. Chceme-li připojit síťový modul k routeru, nastavíme v programu název a heslo pro přístupový bod WIFI a použijeme funkce připojení:

```
void connectToWiFiAndStartServer() {
  WiFiManager wifiManager;
  if (!wifiManager.autoConnect("AutoConnectAP")) {
    Serial.println("Failed to connect to WiFi. Entering Access Point mode.");
    WiFi.softAP("ESP8266-AP", "password");
    Serial.print("AP IP address: ");
  }
```



```
*wm:AutoConnect
*wm:No wifi saved, skipping
*wm:AutoConnect: FAILED for 2 ms
*wm:StartAP with SSID: AutoConnectAP
*wm:AP IP address: 192.168.4.1
*wm:Starting Web Portal
```

WiFiManager

AutoConnectAP

Configure WiFi

Info

Exit

Update

No AP set

```
*wm:AutoConnect
*wm:No wifi saved, skipping
*wm:AutoConnect: FAILED for 2 ms
*wm:StartAP with SSID: AutoConnectAP
*wm:AP IP address: 192.168.4.1
*wm:Starting Web Portal
*wm:5 networks found
*wm:Connecting to NEW AP: Vodafone-FBAA
*wm:connectTimeout not set, ESP waitForConnectResult...
*wm:Connect to new AP [SUCCESS]
*wm:Got IP Address:
*wm:192.168.0.115
*wm:config portal exiting
Connected to WiFi network!
HTTP server started.
Time synchronized
```

Obrázek 18: Výsledek funkce správce připojení Wi-Fi [autor].

Po navázání spojení musí mikrokontrolér počkat na předložení karty modulu RFID a načíst data z karty. K tomu používáme funkce `String readRFID()`.

Čtení karet RFID Funkce čtení RFID () je zodpovědná za interakci se čtečkou RFID a získávání dat z karty.

`String readRFID () {`

`String content = "";`

`if (mfrc522.PICC_IsNewCardPresent() && mfrc522.PICC_ReadCardSerial()) {`

`for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++) ...}`

- [Home](#)
- [Export](#)
- [Export HTML to FTP](#)

ATTENDANCE

ID.No	Name	CardID	Department	Date	Time In	Time Out
1	Unknown	62ADA551	IAT	06.02.2024	12:47	12:47
2	Unknown	B8836C12	IAT	06.02.2024	12:47	12:47

Obrázek 19: Výsledkem práce je načtení karty a synchronizace data s časem při připojení k síti [autor].

Tato funkce kontroluje přítomnost nové RFID karty a zda ji lze přečíst. Poté načte jedinečný identifikátor karty (UID) bajt po bajtu, převede jej na hexadecimální řetězec a připojí jej k řetězci obsahu. Pokud je některý bajt menší než 16 (0x10 v šestnáctkové soustavě), připojí se k němu "0", aby bylo formátování bajtů konzistentní.

Přidání registrace karty

`addRegistration(String cardID)`: poté, co funkce `readRFID()` načte ID karty, přidá tato funkce nový registrační záznam s ID karty, aktuálním datem a časem. Zkontroluje, zda v systému existuje ID karty; pokud ano, aktualizuje se poslední časový limit registrace. V opačném případě se v systému vytvoří nový záznam.

```
void addRegistration(String cardID) {
    // Check if the card ID already exists in the registrations
    bool cardExists = false;
    for (auto& reg : registrations) {
        if (reg.cardID.equals(cardID)) {
            // Update the appropriate timestamps based on last scan
            cardExists = true; }
    }
```

Funkce `handleExportCSV()` začíná vytvořením řetězce csv a jeho inicializací s řádkem záhlaví souboru CSV, který obsahuje záhlaví sloupců oddělená středníky (;).

Poté vstoupí do smyčky registračním vektorem, který obsahuje všechny registrační položky. Pro každý objekt `CardRegistration` (představující jeden registrační záznam) funkce zřetězí jednotlivé vlastnosti (`idNo`, `name`, `cardID`, `Department`, `date`, `timeIn`,

timeOut) do řetězce csv, za každou následuje středník.

Po přidání všech záznamů se zavolá funkce `server.send()`. Tato funkce odešle vygenerovaný řetězec CSV zpět klientovi s MIME typem `text/csv`. Tato akce obvykle vyzve webový prohlížeč ke stažení souboru nebo zobrazení obsahu ve formátu CSV.

V kontextu webového serveru umožňuje taková funkce uživatelům stahovat dopravní data ve formátu CSV přímo z ESP8266, která pak mohou být použita v tabulkových programech, jako je Microsoft Excel nebo Google Sheets, pro další analýzu nebo uchování záznamů.

Tato funkce je součástí zpracování trasy serveru, což znamená, že je přímo propojena s částí webového rozhraní našeho systému, což uživateli umožňuje komunikovat se systémem prostřednictvím webového prohlížeče a získávat data o provozu v široce kompatibilním formátu.

```
// Set up your server routes
server.on("/", HTTP_GET, handleRoot);
server.on("/export.csv", HTTP_GET, handleExportCSV);
server.on("/export", HTTP_GET, handleExport); // Ensure handleExport is defined before
setup()
```

ID No	Name	Card ID	Department	Date	Time In	Time Out
1	Unknown	62ADA551	IAT	07.02.2024	12:47	12:47
2	Unknown	B8836C12	IAT	07.02.2024	12:47	12:47

Obrázek 20: Excel stažen ze serveru [autor].

Funkce NTP (Network Time Protocol) slouží k synchronizaci času zařízení s přesným časem přes internet. Zařízení ESP8266 se pro přístup k internetu nejprve připojí k síti Wi-Fi. To je nezbytné, protože NTP vyžaduje připojení k internetu pro získání přesného času. Vytvořte instanci `NTPClient` a předejte jí objekt `WiFiUDP`, adresu serveru NTP ("pool.ntp.org" je veřejný a široce používaný), posun časového pásma v sekundách (například pro SEČ je to 3600 sekund nebo 1 hodina) a interval aktualizace (frekvence, se kterou bude zařízení aktualizovat čas, synchronizuje se s NTP serverem).

Zpracování odpovědi: Klient NTP zpracuje odpověď ze serveru, převede přijatá data na místní čas, přičemž zohlední časové pásmo a letní čas.

Synchronizace hodin: Čas na zařízení ESP8266 se aktualizuje podle času přijatého ze

serveru. To zajišťuje přesné sledování času na vašem zařízení.

Výstup popisuje informace o souborovém systému LittleFS na ESP8266, který je používán pro ukládání dat. Jedná se o přehled kapacity, využití, a dalších technických parametrů souborového systému, které jsou klíčové pro správu a optimalizaci úložiště na zařízení. Zde je vysvětlení jednotlivých položek:

Total space: Celkový dostupný prostor na souborovém systému je 2072576 bajtů, což přibližně odpovídá 2 MB. Toto číslo ukazuje, kolik paměti je celkově dostupné pro ukládání souborů.

Total space used: Celkový prostor využitý soubory je 24576 bajtů, což je přibližně 24 KB. To znamená, kolik paměti je aktuálně využito uloženými daty.

Block size: Velikost bloku souborového systému je 8192 bajtů, tedy 8 KB. Blok je základní jednotkou pro alokaci prostoru na souborovém systému.

Page size: Velikost stránky, zde uvedená stejná jako celkový prostor, což je pravděpodobně chyba v popisu. Obvykle se jedná o menší jednotku než velikost bloku a určuje minimální množství dat, které lze najednou zapsat nebo přečíst.

Max open files: Maximální počet souborů, které lze mít současně otevřené, je 5. Toto omezení je důležité pro správu paměti a výkon zařízení.

Max path length: Maximální délka cesty k souboru je 32 znaků. To omezuje, jak dlouhé mohou být názvy souborů a cesty k nim.

Dále výstup uvádí informaci o konkrétním souboru export.html s velikostí 798 bajtů. Toto číslo ukazuje, kolik místa tento soubor zabírá na souborovém systému.

```
File sistem info.  
Total space:      2072576byte  
Total space used: 24576byte  
Block size:       8192byte  
Page size:        2072576byte  
Max open files:   5  
Max path lenght:  32  
  
export.html - 798
```

Obrázek 21: výstupní informace o úložišti LittleFS [autor].

Tento přehled poskytuje užitečné informace o tom, jak je souborový systém LittleFS na ESP8266 využíván, což je důležité pro efektivní správu úložiště a optimalizaci výkonu aplikací běžících na tomto zařízení.

9.1. HTTP požadavek

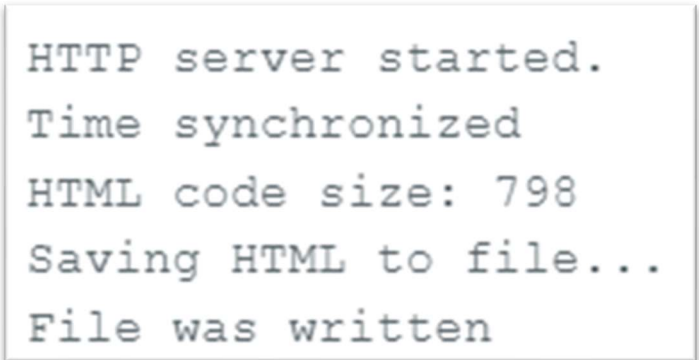
Váš kód používá knihovnu ESP8266WebServer k vytvoření webového serveru, který naslouchá na portu 80. Server je nakonfigurován tak, aby odpovídal na různé požadavky HTTP:

`handleRoot()`: Tato funkce je volána, když uživatel přistupuje ke kořenové cestě webového serveru (např. `http://ip-adresa/`). Funkce vygeneruje HTML stránku s informacemi o docházce, která obsahuje UID karty, časy příchodů a odchodů, a zobrazí ji uživateli.

`handleExportCSV()`: Funkce je navržena pro zpracování požadavků na export dat ve formátu CSV (`/export.csv`). Vygeneruje

a odešle soubor CSV s registračními údaji.

`handleExport()`: Zpracovává požadavek na export souboru HTML na server FTP (`/export`). Po úspěšném načtení obsahu HTML do souboru a jeho exportu na FTP server odešle uživateli odpověď.



```
HTTP server started.  
Time synchronized  
HTML code size: 798  
Saving HTML to file...  
File was written
```

Obrázek 22: výstupní informace o spuštění serveru HTTP [autor].

FTP klient: Funkce jako `startFTPUpload` a `exportHTMLtoFTP` se používají k nahrávání souborů na FTP server. Tyto funkce zahajují a spravují přenosy souborů z ESP8266 na vzdálený FTP server. Přenos se provádí v neblokujícím režimu, což umožňuje ESP8266 pokračovat v normálním provozu během přenosu souboru. Stav přenosu je neustále kontrolován a zprávy se tisknou, pokud jsou úspěšné nebo neúspěšné.

Tento kód také obsahuje logiku pro připojení k Wi-Fi a správu souborového systému na ESP8266 (LittleFS), což je důležité pro ukládání a správu souborů, které jsou poté nahrány na FTP server nebo použity jako zdroj pro HTTP odpovědi.

Na závěr, vaše implementace používá ESP8266 jako webový server pro zpracování HTTP požadavků a jako FTP klienta pro nahrávání souborů na vzdálený FTP server, což umožňuje efektivní správu a sdílení dat generovaných zařízením.

HTTP odpověď serveru se provádí pomocí instrukce `server.send`(stavový kód, typ obsahu, obsah). Stavový kód 200 nebo 404 označuje, že požadavek HTTP byl úspěšný nebo že požadovaná adresa URL nebyla nalezena. Typ obsahu je prostý text, text ve formátu HTML nebo JSON, které jsou označeny jako `text/plain`, `text/html` a `text/json`. Když je typ obsahu `text/html`, je kód HTML reprezentován jako řetězec nebo funkce [10].

```
PS C:\Users\eordo> curl http://192.168.0.115/

StatusCode      : 200
StatusDescription : OK
Content         : <!DOCTYPE html><html><head><meta charset='UTF-8'><title>Attendance</title></head><body><style>body
                  { background-color: #e6ffe6; color: #333333; }h1 { text-align: center; }table { width: 100%; text-a
                  li...
RawContent      : HTTP/1.1 200 OK
                  Connection: close
                  Content-Length: 798
                  Content-Type: text/html

                  <!DOCTYPE html><html><head><meta charset='UTF-8'><title>Attendance</title></head><body><style>body
                  { background-colo...
Forms           : {}
Headers        : {[Connection, close], [Content-Length, 798], [Content-Type, text/html]}
Images         : {}
InputFields    : {}
Links          : {@{innerHTML=Home; innerText=Home; outerHTML=<A href="/">Home</A>; outerText=Home; tagName=A; href=
                  /}, @{innerHTML=Export ; innerText=Export ; outerHTML=<A href="/export.csv">Export </A>; outerText=
                  Export ; tagName=A; href=/export.csv}, @{innerHTML=Export HTML to FTP; innerText=Export HTML to FTP
                  ; outerHTML=<A href="/export">Export HTML to FTP</A>; outerText=Export HTML to FTP; tagName=A; href
                  =/export}}
ParsedHtml     : mshhtml.HTMLDocumentClass
RawContentLength : 798
```

Obrázek 23: zobrazení informací PowerShell o úspěšném připojení Ftp client/server [autor].

10. Mobilní pravidelné odesílání shromážděných dat na vzdálený FTP server

Projekt implementoval funkcionalitu mobilního datového kolektoru, který funguje jako server. To znamená, že kolektor nejen shromažďuje data z různých zdrojů, ale také poskytuje možnost přístupu k těmto datům na vyžádání z klientských aplikací nebo zařízení. To poskytuje flexibilitu a rozšiřitelnost systému sběru dat a zpřístupňuje informace v reálném čase pro analýzu a rozhodování.

Pro implementaci serverové funkcionality v mobilním kolektoru se používají moderní síťové komunikační protokoly, které zajišťují stabilitu a bezpečnost při přenosu dat. Server je schopen zpracovávat příchozí požadavky na stahování dat, autentizovat uživatele a poskytovat omezení přístupu k informacím v závislosti na úrovni práv.

Integrace funkcí serveru do mobilního sběrače dat vám umožňuje:

10.1. Vzdálený přístup: Uživatelé mohou požadovat a přijímat data z mobilního kolektoru odkudkoli s přístupem k internetu pomocí standardních protokolů a rozhraní API.

Škálovatelnost: Systém lze snadno škálovat tak, aby zpracovával více požadavků nebo objemů dat, což je důležité, když se zvyšuje počet připojených zařízení nebo bodů sběru dat.

10.2. Zajištění bezpečnosti: Všechna data přenášená do a z mobilního faucetu lze chránit pomocí šifrování a protokolů pro bezpečný přenos dat, jako je HTTPS, čímž se eliminuje riziko neoprávněného přístupu.

10.3. Výkon a spolehlivost: Mobilní kolektor může pracovat nepřetržitě, poskytovat data na vyžádání a zajistit stabilitu monitorovacího a analytického systému.

Práce podrobně zkoumá architekturu mobilního kolektoru, protokoly výměny dat a metody pro zajištění bezpečnosti a důvěrnosti informací. Jsou také prezentovány scénáře použití mobilního kolektoru jako serveru v různých aplikačních oblastech, které demonstrují jeho všestrannost a efektivitu.

11. Výhody a nevýhody FTP serveru

11.1. Nevýhody FTP serveru

- FTP neposkytuje zabezpečení. Všechny soubory jsou odesílány jako čistý text a útočník připojený ke kanálu je může kompletně přečíst.
- Servery pro přenos souborů nekontrolují pravost odesílajícího zdroje. Díky tomu je server zranitelný vůči útokům hackerů, jako je DDoS.
- Je obtížné sledovat akce uživatelů, nahrané a stažené soubory ze serveru.

11.2. Výhody FTP serveru

- FTP může rychle přenášet velké množství dat. Kvůli chybějícímu šifrování a záznamu systémových dat je proces přenosu rychlejší.
- Pomocí FTP můžete přenášet několik různých souborů nebo adresářů současně.
- Přenos lze obnovit. Pokud se přenos souborů přeruší, nemusíte se bát, že byste o svůj postup přišli. FTP podporuje bezproblémovou obnovu pomocí příkazu rest.

12. Mobilní kolektor musí fungovat jako server, ze kterého lze na požádání také stahovat data.

V rámci projektu je mobilní datový kolektor navržen tak, aby vykonával funkce serveru. Toto klíčové architektonické řešení umožňuje zařízení nejen shromažďovat informace ve vnitřní paměti, ale také tato data na vyžádání poskytovat dalším zařízením nebo službám. Mobilní kolektor tedy funguje jako uzel schopný pravidelně aktualizovat a poskytovat aktuální informace v reakci na externí požadavky.

Tato funkce je řízena potřebou rychlého přístupu k datům pro různé analytické, monitorovací a manažerské aplikace, což je důležitý aspekt v systémech, které vyžadují odezvu v reálném čase. Provoz mobilního kolektoru jako serveru poskytuje následující možnosti:

Mobilní faucet dokáže přijímat požadavky od klientů a reagovat na ně poskytnutím požadovaných dat. To lze implementovat prostřednictvím REST API, kde klienti odesílají HTTP požadavky na načtení dat.

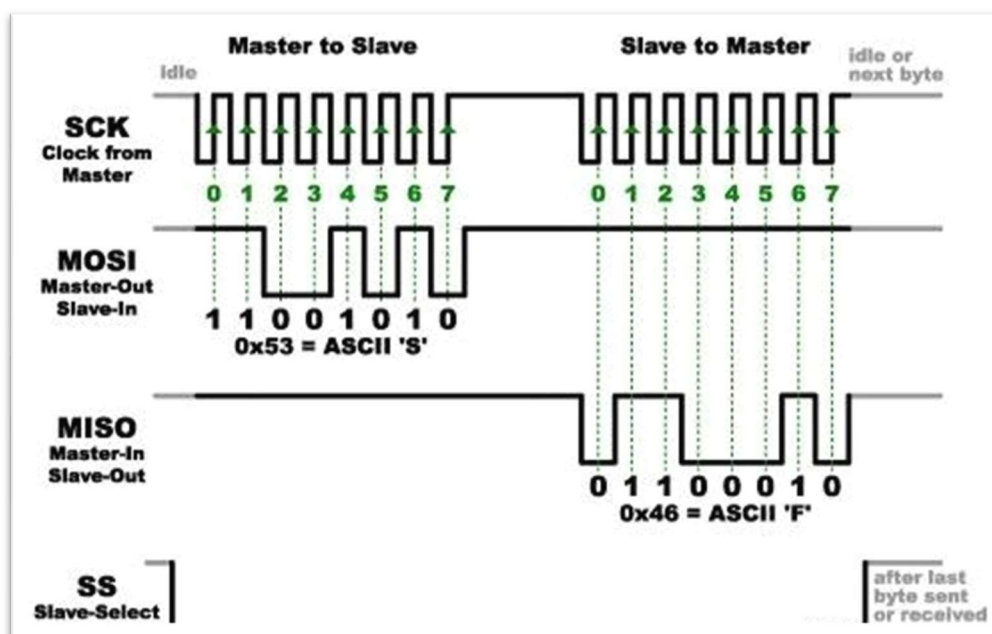
Návrh zahrnuje autentizační a přístupové mechanismy, které zajistí, že k datům budou mít přístup pouze oprávnění uživatelé. Integrace funkcí na straně serveru do mobilního kolektoru výrazně zlepšuje dostupnost a užitečnost shromážděných dat a zpřístupňuje je širokému spektru spotřebitelů, od vestavěných systémů po cloudové aplikace.

Tento článek podrobně popisuje technické aspekty implementace funkcí serveru v mobilním kolektoru, včetně výběru vhodných softwarových a hardwarových komponent, algoritmů zpracování dat a principů pro konstrukci síťové interakce.

12. Schéma činnosti zařízení

Pro úplnější pochopení činnosti zařízení zvažte časový diagram čtečky RFID. Přenos dat z modulu RFID do mikrokontroléru probíhá pomocí rozhraní SPI.

SPI je sériové periferní rozhraní, které umožňuje přenášet 1 bajt informací najednou mezi dvěma moduly. Protokol SPI je známý jako protokol master/slave. To znamená, že existuje pouze jedno ovládací zařízení a několik ovládaných zařízení. Toto rozhraní je skvělé pro rychlý přenos dat ze senzorů. Aby toto rozhraní fungovalo, jsou potřeba minimálně 4 piny: SCK, MOSI, MISO a SS (označené jako SDA na modulu RFID).



Obrázek 24: SPI komunikační časový diagram

SCK je hodinový signál, který je potřebný k synchronizaci mezi dvěma zařízeními, například jak rychle mají být data odesílána a přijímána. Rychlost přenosu dat je známá jako baud. Bez SCK by zařízení od sebe nemohla přijímat data.

MOSI je zodpovědná za přenos dat z masteru na slave, **MISO** je zodpovědná za přenos informací z slave na master. Na časovém diagramu

Můžete vidět, jak hlavní zařízení posílá znak „S“ do podřízeného zařízení a přijímá jako odpověď znak „F“.

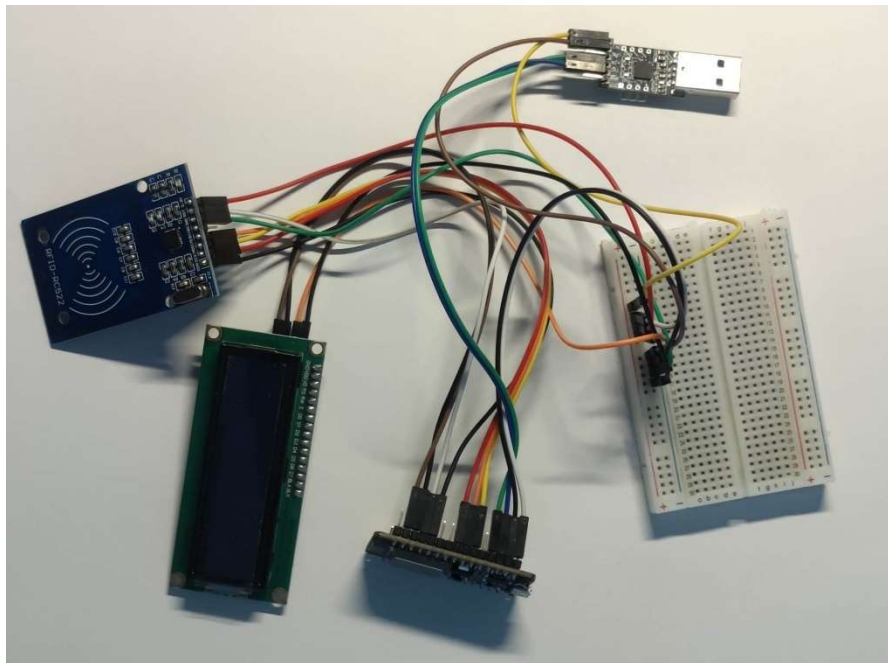
SS se používá k upozornění konkrétního slave, že se master chystá odeslat data. Poté, co master zahájí komunikaci mezi zařízeními, bude udržovat signál SS na nízké úrovni, dokud se přenos dat nezastaví. Když je signál na SS nízký, master začne přepínat hodinový pin SCK a řídit MOSI, aby poskytoval informace podřízenému. Čísla v diagramu představují každý bit přenášeného bytu [22].

13. Závěr k oddílu

Tato část zkoumala časový diagram čtečky RFID. Vzhledem k tomu, že existuje více typů protokolů pro přenos informací z modulu do mikrokontroléru, byl uvažován protokol SPI, na kterém RFID modul pracuje. Byly zvažovány výhody tohoto protokolu, jak probíhá synchronizace mezi moduly, na jakém principu a v jakém pořadí jsou informace přenášeny a přijímány. Rovněž v případě, že je nutné k mikrokontroléru připojit více RFID čteček, je možných několik typů připojení, což umožňuje rozšířit možnou funkčnost zařízení na požadovanou.

14. Výroba celého zařízení

V této fázi bylo sestaveno zařízení ze vstupních komponent pro mobilní sběr RFID dat na základě předem vybraných modulů a napsaného softwaru a byla také prověřena funkčnost zařízení a softwarové části mikrokontroléru.



Obrázek 25: Kompletní zařízení sestaveno [autor].

V této části bylo na základě vývojového schématu a vybraných komponent, které byly navrženy ve třetím oddílu, sestaveno zařízení pro čtení bezkontaktních karet a značek využívající technologii RFID (Radio-Frequency Identification), které je kompatibilní s kartami a značkami pracujícími na frekvenci 13,56 MHz. Do mikrokontroléru a PC byly nahrány programy se všemi knihovnami. Po nahrání programů byla nastavena IP adresa pro otevření html stránky se všemi definovanými funkcemi práce s exportem a FTP serverem. Poté, co se mikrokontrolér úspěšně připojil k Wi-Fi síti, byla ověřena funkčnost zařízení. Práce zařízení plně odpovídá stanoveným požadavkům. Výsledkem úspěšné kontroly je zobrazení UID (Unique Identifier) karty, který zobrazuje unikátní sériové číslo zabudované v každé RFID kartě s časem příchodu a odchodu.

Po úspěšném nahrání programu se v sériovém monitoru objeví zpráva o stavu WiFi: Jakmile dojde k připojení k WiFi a vytvoření WiFi přístupového bodu, objeví se příslušné zprávy, včetně IP adresy pro otevření html stránky. Pokud ESP8266 přejde do režimu přístupového bodu, IP adresa pro otevření html stránky bude nastavena lokálně prostřednictvím esp8266. Po úspěšném připojení k síti a synchronizaci času se objeví zprávy o tom, že čas byl synchronizován s systémem.

Při skenování RFID karty se zobrazí zprávy o načtených ID karet, stejně jako informace o

registraci (čas příchodu/odchodu) a na LCD se zobrazí unikátní identifikátor karty.

Byly také nastaveny příkazy přes sériový port: pokud pošlete příkazy přes sériový port (například "L" pro seznam souborů, "G <název_souboru>" pro stažení souboru z FTP), objeví se příslušné zprávy o těchto operacích. Při ukládání HTML do souboru a přenosu souboru na FTP server se zobrazí zprávy o stavu těchto operací, včetně úspěchu nebo neúspěchu operací. Při zpracování HTTP požadavků na váš server (například při exportu dat) se v sériovém monitoru zobrazí příslušné zprávy.

15. Závěr

V rámci bakalářské práce bylo vyvinuto zařízení založené na platformě Arduino pro identifikaci návštěvníků vzdělávacího zařízení.

V první části práce byla zdůvodněna potřeba vyvinout takové zařízení. Za tímto účelem byl proveden průzkum existujících systémů kontroly a řízení přístupu a byly identifikovány funkce, které jsou v současnosti realizovány v systémech kontroly přístupu. Ve druhé části byly na základě analýzy známých řešení stanoveny požadavky na vyvíjené zařízení a učiněn závěr o nutnosti vytvoření zařízení s co nejnižšími ekonomickými náklady. Ve třetí části byla navržena primární strukturální schéma zařízení, poté byly vybrány potřebné komponenty, analyzovány jejich technické specifikace a způsoby připojení. Výsledkem bylo získání elektrického schématu zařízení. Navržená strukturální schéma a schéma komponent umožnily další vývoj algoritmů fungování a realizaci softwarového prototypu. Ve čtvrté části byl vyvinut algoritmus fungování zařízení, byly vybrány prostředky pro psaní softwaru, po kterém byly napsány programy pro mikrokontrolér a počítač.

Výhody vyvinutého zařízení zahrnují ukládání informací ve vzdělávacím zařízení a práci s vzdáleným serverem programu, což zabraňuje možnosti získání přístupu k datům jinými osobami, možnost přidávání nových funkcí a nových komponent díky flexibilní struktuře a možnosti aktualizace kódu mikrokontroléru a PC.

16. Seznam použité literatury

1. GOST R 54831-2011 „Systémy kontroly a řízení přístupu. Řízená blokovací zařízení. Všeobecné technické požadavky. Zkušební metody“(schváleno a uvedeno v platnost nařízením Rosstandart ze dne 13. prosince 2011 N 1223-st).
2. Netypické funkce ACS [Elektronický zdroj]. – Režim přístupu: http://www.secuteck.ru/articles2/sys_ogr_dost/netipichnye-funktsii-skud/ (datum přístupu: 20.05.2016).
3. Home. (n.d.). Bosch Security and Safety Systems I Global. <https://www.boschsecurity.com/xc/en/>
4. Building technology. (n.d.). siemens.com Global Website. <https://www.siemens.com/global/en/products/buildings.html>
5. Security. (n.d.). Building Automation. <https://buildings.honeywell.com/us/en/brands/our-brands/security>
6. Open-source tool that uses simple textual descriptions to draw beautiful UML diagrams. (n.d.). PlantUML.com. <https://plantuml.com/en/>
7. Výrobce RFID štítků a RFID zařízení společnost RST-Invent [Elektronický zdroj]: webové stránky společnosti. URL: <http://www.rst-invent.ru/faq/>
8. Čtečky a štítky RFID – Režim přístupu [Elektronický zdroj]: vzdělávací blog. URL: <https://arduino-kit.ru/product/schi-tyivatel-rfid-rc522-1356mhz-2B-karta-2B-brelak>
9. Staff, L. E. (2018, July 30). In-Depth: What is RFID? How It Works? Interface RC522 with Arduino. Last Minute Engineers. <https://lastminuteengineers.com/how-rfid-works-rc522-arduino-tutorial/>
10. Cameron, N. (2018). *Arduino Applied: Comprehensive Projects for Everyday Electronics*. Apress.
11. NodeMCU ESP8266. (n.d.). Components101. <https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet>
12. GM electronic | elektronické součástky, komponenty. (n.d.). GM electronic |

- elektronické součástky, komponenty. <https://www.gme.cz/v/1508310/prevodnik-usb-uart-reset-pin>
13. Half-Size Breadboard. (n.d.). Digilent. <https://digilent.com/shop/half-size-breadboard/>
 14. Buy LCD display 2x16 characters blue + I2C. (n.d.). BOTLAND. <https://botland.store/alphanumeric-and-graphic-displays/2351-lcd-display-2x16-characters-blue-i2c-lcm1602-5904422309244.html>
 15. Samsung 22E 18650 Battery, 2150mAh, 4.4A, 3.7V, Grade A Lithium-ion (ICR18650-22E). (n.d.). Voltaplex Lithium Ion Battery Packs. <https://voltaplex.com/samsung-22e-18650-battery-icr18650-22e>
 16. Fritzing is free cross-platform software, simplified CAD with a WYSIWYG interface for hobby projects in the Arduino ecosystem. (n.d.). Welcome to Fritzing. <https://fritzing.org/>
 17. Belov, A.V. (2020). Control of the ARDUINO module via Wi-Fi from mobile devices. St. Petersburg: Science and Technology, 496 pages, ill.
 18. Arduino - Home. (n.d.). Arduino - Home. <https://www.arduino.cc/>
 19. Batrinu, C. (2017). ESP8266 Home Automation Projects: Leverage the power of this tiny WiFi chip to build exciting smart home projects. Packt Publishing.
 20. Petin V.A. Projects using the Arduino controller. / V.A. Petin. – St. Petersburg. : BHV-Petersburg, 2015. – 464 p.
 21. ESP8266 NodeMCU Access Point (AP) for Web Server | Random Nerd Tutorials. (n.d.). Random Nerd Tutorials. <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-nodemcu-access-point-ap-web-server/>
 22. Communication Protocols. // Documentation. URL: https://tessel.gitbooks.io/t2-docs/content/Tutorials/Communication_Protocols.html#spi