FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ČVUT V PRAZE

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Název:	Inteligentní zabezpečovací systém garáže: Nadřazený systém
Student:	Bc. Ondřej Červenka
Vedoucí:	Ing. Martin Daňhel
Studijní program:	Informatika
Studijní obor:	Návrh a programování vestavných systémů
Katedra:	Katedra číslicového návrhu
Platnost zadání:	Do konce letního semestru 2018/19

Pokyny pro vypracování

Dle analýzy vyberte vhodnou platformu (Raspberry Pi, ZYNQ apod.) a navrhněte a implementujte systém (ve formě aplikace/bitstreamu) pro správu jednotlivých garáží.
Navržený systém na základě příchozích událostí vyhodnotí situaci a zareaguje vhodnou akcí (např. jedna z garáží se nebude hlásit, v jedné z garáží čidla zahlásí, že hoří, případně neautorizovaný vstup apod.).
Systém bude umožňovat správu podřízených systémů jednotlivých garáží (ty nejsou součástí práce).Pro komunikaci (eth/wifi) mezi jednotlivými garážemi a navrhovaným systémem navrhněte rozhraní na základě rešeršní analýzy.

Navrhněte webové rozhraní pro správu garáží, které bude umožňovat zobrazit současný stav jednotlivých garáží (otevřeno, zamčeno, obsazeno, volno), pokusů o útok včetně historie událostí. Do webového rozhraní je umožněn pouze autorizovaný přístup.
Systém navrhněte s ohledem na bezpečnost, spolehlivost a rozšiřitelnost.
Celé zařízení otestujte.

Seznam odborné literatury

Dodá vedoucí práce.

doc. Ing. Hana Kubátová, CSc.
vedoucí katedry

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

V Praze dne 31. ledna 2018

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta informačních technologií
Katedra číslicového návrhu

Diplomová práce

Nadřazený systém pro správu garáže

Bc. Ondřej Červenka

Vedoucí práce: Ing. Martin Daňhel

4. března 2018

Poděkování

Děkuji panu Ing. Martinu Daňhelovi za čas, který mi věnoval a zejména za cenné rady a odborné vedení mé diplomové práce.

Prohlášení

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

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

V Praze dne 4. března 2018 .....

Odkaz na tuto práci

Červenka, Ondřej. *Nadřazený systém pro správu garáže.* Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2018.

Abstrakt

V několika větách shrňte obsah a přínos této práce v češtině. Po přečtení abstraktu by se čtenář měl mít čtenář dost informací pro rozhodnutí, zda chce Vaši práci číst.

Klíčová slova Nahraďte seznamem klíčových slov v češtině oddělených čárkou.

Abstract

Sem doplňte ekvivalent abstraktu Vaší práce v angličtině.

Keywords Nahraďte seznamem klíčových slov v angličtině oddělených čárkou.

Obsah

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Úvod

Tato práce se zabývá zabezpečením garážového komplexu. V něm je potřeba jednotlivé garáže zajistit jednak proti nedovolenému vniknutí, jednak proti nebezpečí požáru. Je tedy nutné sledovat události indikující vznik těchto hrozeb (například detekce kouře či pohybu). K tomu slouží zařízení umístěná v garážích, která sledují stav svého okolí pomocí čidel a jsou schopna detekovat nebezpečí.

Tato zařízení nepracují samostatně, ale odesílají data o zaznamenaných událostech centrální jednotce – nadřazenému systému[1]. Tento nadřazený systém zpracovává příchozí informace a varuje uživatele o potencionálních hrozbách.

Kromě toho také vytváří historii zachycených událostí. Ta může mít informativní hodnotu pro provozovatele komplexu (například údaje o vytíženosti jednotlivých garáží), nebo také posloužit při policejním vyšetřování (časy otevření dveří či zacyhcení pohybu).

Cílem práce je vytvořit a otestovat tento nadřazený systém. Výsledná aplikace bude komunikovat pomocí WiFi či Ethernetu s podřízenými systémy (monitorovacími zařízeními v garážích). Na základě získaných dat pak bude udržován stav jednotlivých garáží a vytvářena historie událostí.

Systém bude poskytovat webového rozhraní pro administraci. V tom bude možné přidávat a odebírat podřízené systémy, zobrazovat jejich stav a zaznamenané události.

Vzhledem k povaze zadání je nutné systém navrhnout s ohledem na zabezpečení přenášených informací před odposloucháváním či manipulací. Též je nutné autorizovat uživatele přistupující do webového rozhraní.

Dalším důležitým požadavkem je snadná rozšiřitelnost o nové funkce. Systém by mělo být možné v budoucnu doplnit o možnost správy rozdílných

[1] V textu práce budu dále používat označení „nadřazený systém“ pro tuto centrální jednotku a „podřízený systém“ pro monitorovací zařízení, která jsou umístěna v jednotlivých garážích.

podřízených systémů (například subsystémy pro sledování skladových zásob) či integraci s mobilní aplikací. Bude tedy potřeba navrhnout vhodné komunikační rozhraní pro předávání informací mezi systémem a jeho klienty.

V práci se chci zaměřit na tvorbu aplikace na jedné konkrétní hardwarové platformě, jako je například jednodeskový počítač Raspberry Pi. Aplikace spolu s touto platformou by pak měla tvořit kompletní zařízení, které bude možné po základní konfiguraci (připojení do WiFi sítě, nastavení hesla) hned nasadit.

Výsledné řešení by však mělo být dostatečne nezávislé na zvolené platformě. Tudíž by neměl být problém spustit systém například na osobním počítači či virtuálním serveru.

V analytické části (2) práce tedy přiblížím proces výběru vhodné platformy, komunikačního protokolu a dalších prvků systému. Také stručně popíšu podřízený systém (garážové čidlo), se kterým budu dále pracovat. Další části mapují návrh (3) systému na základě této analýzy, jeho implemetaci (4), nasazení (A) na zvoleném hardwaru a testování (5).

Kapitola 1

Teoretický základ

1.1 Základní pojmy

do ty teorie dat spis veci jako protokoly, koncepty, nebo obecny technologie k softwaru dat citaci primo v textu

- uzivatel – use case diagramy, nebo ty mozna az v navrhu
- klic
- api
- client/server
- tcp/ip
- osi
- http/https, pozadavek
- hash, u hashe zminit bcrypt a eventuelne jiny bezpecny algoritmy
- mqtt
- certifikát, k tomu veřejný a soukromý klíč, self-signed jen treba lehce zminit, protoze je uz dost popsanej v ty http sekci
- vícevláknová obsluha
- nadrazeny system
- podrizeny system
- mitm attack
- publisher/subscriber

- webové rozhraní
- unix time

1.2 Bezpečnost

1.3 Spolehlivost

Kapitola 2

Analýza

Před samotným návrhem a implementací nadřazeného systému je potřeba přesněji definovat požadavky na jeho vlastnosti a chování. Z hlediska chování by systém měl poskytovat následující funkce:

- Systém má být schopen komunikovat s podřízenými systémy pomocí WiFi či Ethernetu (v rámci místní sítě). Komunikace je založena na zasílání událostí zaznamenaných podřízenými systémy.
- Systém má uchovávat zaznamenané události, včetně data a času přijetí a podřízeného systému, který událost vytvořil.
- Systém má umožňovat správu pomocí webového rozhraní, které by mělo umožňovat následující funkce:
  - Přidat (registrovat) či odebrat podřízený systém.
  - Zobrazit stav registrovaných podřízených systémů.
  - Zobrazit zaznamenané události.
  - Měnit nastavení jednotlivých podřízených systémů.
  - Měnit uživatelské nastavení.
- Systém má být schopen informovat provozovatele při poplachu či poruše.

Dále jsou od nadřazeného systému požadovány tyto vlastnosti:

- **Bezpečnost** – jak komunikace s podřízenými systémy, tak přístup do uživatelského rozhraní by měl probíhat přes zabezpečený komunikační kanál, s ověřením totožnosti účastníků.
- **Spolehlivost** – způsob komunikace i systém jako celek by měl být dostatečně spolehlivý.

- **Presistence** – data v systému by měla být uchovávána presistentním způsobem.
- **Nezávislost** – Systém by neměl být příliš závislý na externích službách a alespoň v omezené míře fungovat i bez přístupu k internetu.

Na základě těchto požadavků je tedy potřeba zvolit vhodné nástroje pro implementaci systému. To je v první řadě komunikační protokol použitý pro komunikaci s podřízenými systémy. Tento protokol by měl být dostatečně robustní, rozšířený a podporovat šifrování. Také by s jeho pomocí mělo být možné bezpečně ověřit identitu podřízených systémů. Výběrem protokolu se zabývá sekce 2.2.

Další důležitá volba je způsob uchování zachycených událostí a dalších údajů. Data je nutné uchovávát presistentně, nejlépe v obecně používaném formátu, který umožní další zpracování i mimo nadřazený systém. Výběr úložiště je popsán v sekci 2.3.

Nadřazený systém má být také schopen upozornit uživatele v případě hrozícího nebezpečí nebo výpadku podřízeného systému. To je možné provést mnoha způsoby, jejichž možnosti jsou shrnuty v sekci 2.4.

Nakonec zbývá zvolit programovací jazyk a případně frameworky pro tvorbu aplikace. Vhodných jazyků je dnes velké množství, jde tedy spíše o otázku osobní preference. Volbou programovacího jazyka se zabývá sekce 2.5.

Z těchto požadavků vyplývá software potřebný k implementaci nadřazeného systému, jehož dostupnost je hlavní požadavek při volbě hardwarové platformy v sekci 2.6.

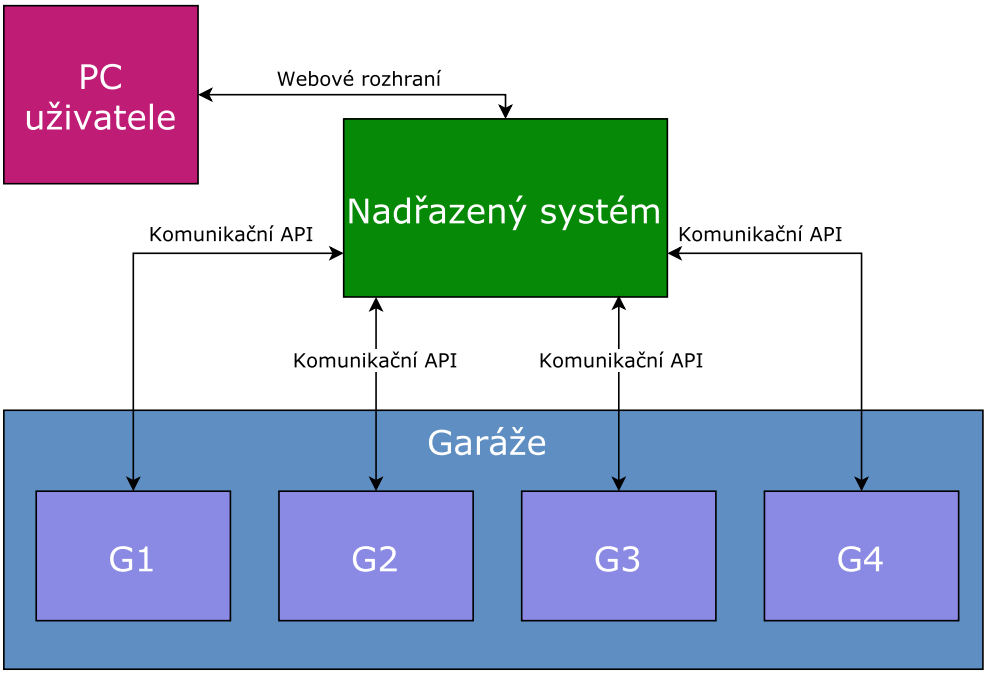
2.1 Struktura systému

Struktura celého systému je naznačena na obrázku 2.1. Podřízené systémy komunikují s nadřazeným na základě událostí. Nadřazený systém tyto události zpracovává a upravuje podle nich stav garáží v evidenci.

Zaznamenané události jsou také uchovávány v historii událostí, spolu s dalšími metadaty jako čas přijetí nebo podřízeného systému, který událost vytvořil.

Komunikace mezi podřízeným a nadřazeným systémem je postavena na modelu *client/server*. Nadřazený systém provozuje server zvoleného protokolu (viz sekci 2.2), ke kterému se podřízené systémy připojují. Komunikaci tedy vždy iniciuje podřízený systém. S možností zasílání nevyžádaných zpráv podřízeným systémům v této práci nepočítám, mohl by to však být námět pro další rozšíření.

Další, kdo přistupuje do systému, je uživatel. Přes webové rozhraní může sledovat stav garáží a historii událostí. Také zde může spravovat klíče, které slouží pro přístup ke komunikačnímu API systému. Přístup do webového rozhraní je zabezpečen heslem.



Obrázek 2.1: Základní struktura systému. Podřízené systémy využívají komunikační API k zasílání událostí. Nadřazený systém tyto události zaznamenává a upravuje podle nich stav garáží. Uživatel nadřazený systém ovládá pomocí webového rozhraní

2.1.1 Podřízený systém

Podřízený systém je zařízení umístěné v každé garáži, které sleduje stav okolí pomocí těchto senzorových vstupů:

- detekce kouře,
- detekce pohybu,
- stav dveří.

Základní požadavek na podřízený systém je schopnost komunikace přes Ethernet či WiFi pomocí protokolu zvoleného v sekci 2.2. Jinak může být hardware prakticky libovolný.

2.1.2 Událost

Událost slouží jako základní komunikační jednotka mezi nadřazeným a podřízeným systémem. V případě překročení mezních hodnot senzorů se jednotlivé

podřízené systémy okamžitě hlásí nadřazenému systému. Kromě toho také v pravidelných intervalech odesílají kontrolní hlášení.

Vyhodnocení události je provedeno nadřazeným systémem. Podřízený systém tedy hlásí každou událost (například otevření dveří), aniž by nějak zkoumal její závažnost.

2.2 Výběr komunikačního protokolu

Nejdřív je nutné určit způsob komunikace, který bude systém používat. Díky tomu se budu při vybíraní platformy moci ujistit, že jsou dostupné vhodné knihovny a další software.

Nadřazený systém bude se svými klienty (monitorovací zařízení v jednotlivých garážích) komunikovat přes WiFi nebo Ethernet. Základem komunikace bude TCP/IP protokol, je však potřeba zvolit vhodný protokol z aplikační vrstvy OSI modelu, který na něm bude stavět.

2.2.1 Vlastní protokol

Jedna z možností je implementovat vlastní protokol pomocí TCP/IP socketů. Toto řešení se mi však nezdá příliš vhodné, neboť nepřináší žádné významné výhody, naopak se s ním pojí řada komplikací.

Pro vlastní protokol by bylo nutné vytvořit robustní server, který zvládá obsluhu více klientů najednou. Dále by vzhledem k citlivosti přenášených dat bylo nutné implementovat nějakou formu šifrování. Tyto velmi obsáhlé problémy přitom řeší většina dnešních protokolů.

Další nevýhodou je nutnost implementace klientské části protokolu při vytváření nových zařízení spravovaných nadřazeným systémem. To do jisté míry omezuje jeho rozšiřitelnost.

2.2.2 Protokol HTTPS

Další možnost je využít ke komunikaci protokol HTTPS. V tomto případě by klienti komunikovali se sytémem pomocí HTTP metod jako například `get` nebo `post`.

Jelikož součástí požadavků na systém je i webové uživatelské rozhraní, bude v každém případě nutné použít webový server pro jeho provoz. Ten by pak bylo možné využít i k poskytnutí API pro komunikaci systému s podřízenými systémy.

Vhodný webový server (jako například Apache [1]) zajistí vícevláknovou obsluhu všech klientů. Protokol se také postará o šifrování přenášených dat, je však nutné získat certifikát k ověření pravosti serveru (viz sekci 2.2.2.1).

Certifikát bude potřeba zajistit i v případě, že komunikace s klienty nebude postavena na tomto protokolu. Je totiž nutné také zabezpečit webové rozhraní,

například kvůli ověření totožnosti uživatele při přihlašování. Nutnost pořízení certifikátu tedy nepředstavuje nevýhodu oproti jiným protokolům.

API realizované pomocí tohoto protokolu je poměrně snadno rozšiřitelné. Pro nově implementovanou operaci stačí definovat URL a případně formát přenášených dat.

Výhodou je také snadná implementace na straně klienta, tedy podřízeného systému. Knihovny realizující klientskou část protokolu jsou dostupné na většině populárních platforem jako například Arduino (s Ethernet *shieldem*, oficiální knihovna EthernetClient [2]) nebo ESP8266 (knihovna esp8266wifi [3]).

2.2.2.1 Certifikáty pro provoz HTTPS

Pro provoz HTTPS serveru lze použít například certifikáty certifikační autority Let's Encrypt, které jsou poskytovány zdarma [4]. Kromě toho dodává Let's Encrypt také automatizačního klienta Certbot [5] pro snadné nasazení a aktualizaci jejich certifikátů. Bohužel certifikáty jsou vydávány pouze na doménu [4], což komplikuje použití v místní síti.

Jiná možnost je použití *self-signed* certifikátu [6]. Tento certifikát není podepsaný žádnou certifikační autoritou, ale pouze vlastníkem certifikátu. Může tedy sloužit k šifrování komunikace (poskytuje veřejný klíč), ale je zranitelný vůči *man-in-the-middle* útoku [6].

Self-signed certifiát však lze použít k šifrování komunikace na uzavřené lokální síti, za předpokladu, že je server s certifikátem (přesněji s jeho soukromým klíčem) dostatečně zabezpečen [6].

Nevýhodou tohoto řešení je nedůvěra webových klientů (certifikát není podepsán certifikační autoritou a nelze tedy ověřit jeho pravost), což by ovlivnilo přístup k uživatelskému rozhraní a API systému. V případě webového rozhraní by prohlížeč zobrazil varování o neznámém certifikátu. To by však mohl uživatel ignorovat.

Podřízené systémy by při zasílání požadavků museli přeskočit krok ověření totožnosti serveru. Jak toho dosáhnout například v knihovně Requests (umožňující vytváření HTTP požadavků [7]) pro jazyk Python [8] je naznačeno v ukázce 1.

Tento jazyk a knihovna byly zvoleny z důvodů kompaktnosti ukázkového kódu, v jiných jazicích lze tuto verifikaci obejít obdobným způsobem.

```
>>> import requests
>>> r = requests.get('https://test.local/hello', verify=False)
>>> r.status_code
200
```

Ukázka 1: Vytvoření HTTPS požadavku v knihovně Requests, bez ověření totožnosti serveru

2.2.2.2 Autentizace klientů na HTTPS

Přístup k API nadřazeného systému by měl být povolen pouze ověřeným klientům. Díky tomu bude možné zabránit například zasílání nepravdivých informací z neznámých zdrojů.

Jednoduchou autentizaci přes HTTPS lze realizovat například pomocí generování API klíčů. Pro každý podřízený systém bude vygenerován klíč, kterým se při zasílání požadavku systém prokáže. Seznam platných klíčů by byl udržován v databázi nadřazeného systému. Klíče by uživatel mohl přidávat nebo odebírat (například v případě odcizení podřízeného systému) pomocí webového rozhraní.

Tyto klíče by také bylo nutné nahrát a uchovávat na podřízených systémech. Detaily tohoto procesu by záležely na platformě těchto systémů. Například u Arduina by šlo klíč nahrát z uživatelova počítače pomocí sériové linky (s USB převodníkem) a udržovat ho v paměti EEPROM, která je uchována i po odpojení napájení [9].

Také by bylo možné implementovat v nadřazeném systému „registrační mód“, který by bylo možné dočasně povolit ve webovém rozhraní. V tomto módu by systém po přijetí speciálního API požadavku vygeneroval nový klíč. Ten by si uložil do své databáze platných klíčů, a také ho v odpovědi zaslal žádajícímu zařízení. Pokud by mód povolen nebyl, odpovědel by systém chybovým kódem, například 403 – *Forbidden*. Zaslání požadavku z podřízeného systému by mohlo být provedeno stisknutím tlačítka.

Tento přístup by byl pravděpodobně uživatelsky příjemnější, přináší však potencionální bezpečnostní rizika. Například pokud by uživatel zapomněl mód vypnout, systém by byl otevřený k registraci nežádoucích zařízení. Takový problém by se však dal řešit například automatickou deaktivací módu po uplynutí časového limitu.

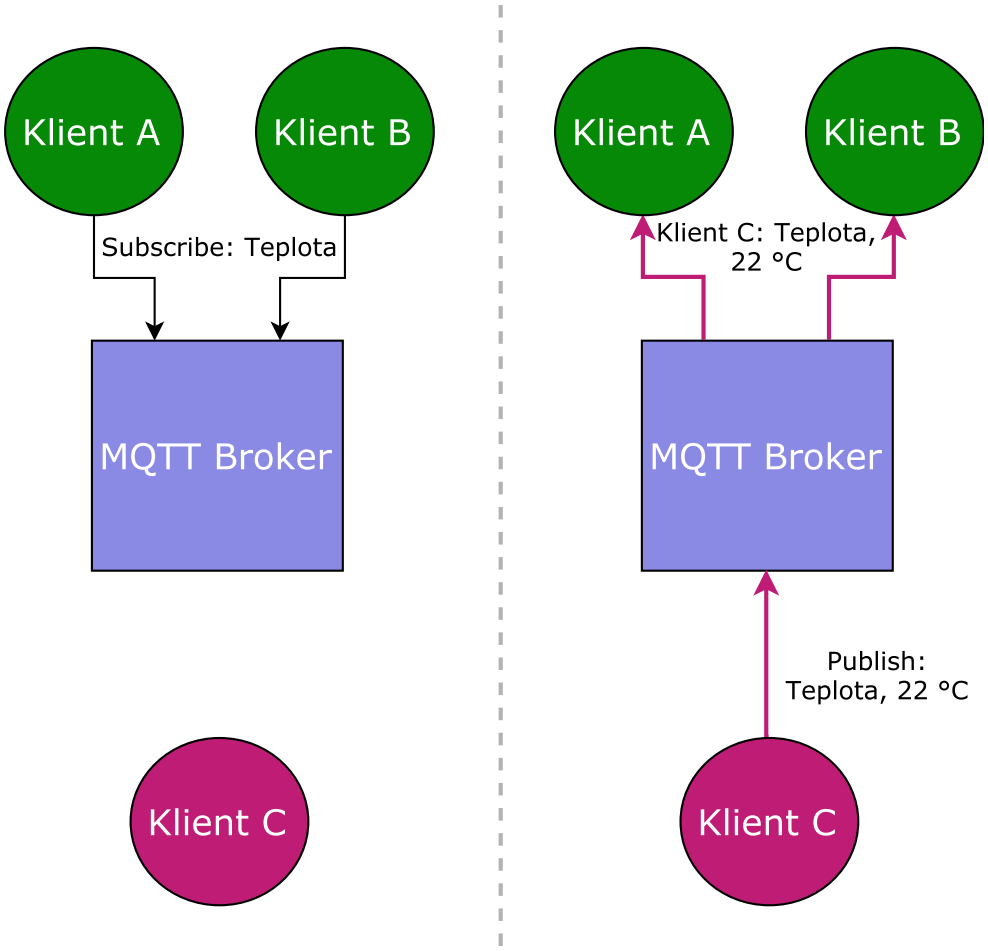
Útočník snažící se získat klíč k API by také mohl periodicky zkoušet registrační požadavek a čekat na aktivaci módu. Obrana proti tomuto útoku by byla složitější, šlo by například filtrovat IP adresy s příliš častými požadavky.

Obecně vycházím z toho, že i v případě registrace nežádoucího zařízení nemůže toto zařízení krátkodobě způsobit výraznější škody – do databáze nadřazeného systému může pouze zasílat nová data, která jsou navíc vázana k jeho identitě (API klíči). Nemůže tedy získávat data od jiných podřízených systému či měnit jejich záznamy. Neautorizované zařízení se také objeví v seznamu registrovaných API klíčů, kde může být snadno odhaleno.

2.2.3 Protokol MQTT

MQTT je komunikační protokol založený na modelu *publisher/subscriber*, určený pro použití v prostředí s omezenými zdroji (malý výkon procesoru, omezená paměť atd.) [10].

Komunikace mezi jednotlivými klienty v systému je zprostředkována pomocí centrály, nazývané *broker*. Ta spravuje adresy – *topics* – na kterých mohou klienti publikovat či odebírat zprávy.



Obrázek 2.2: Příklad struktury protokolu MQTT [11]. Klienti A a B jsou *subscribery topicu* „Teplota“. Když klient C na tuto adresu publikuje novou zprávu, *broker* se postará o její doručení všem *subscriberům*

Na obrázku 2.2 tedy klienti A a B začnou odebírat *topic* „Teplota“. Když pak klient C pak publikuje zprávu na tuto adresu, *broker* se postará o doručení všem odebírajícím klientům.

Adresy je možné hierarchicky strukturovat následujícím způsobem [11]:

- Lze tvořit skupiny, například:
  - `/senzory/obyvak/teplota`.

  - `/senzory/kuchyne/vlhkost`.

- Zprávy je nutné publikovat na jednoznačnou adresu.
- Při odebírání je možné použít modifikátory pro specifikování skupiny adres:
  - Modifikátor `+` – odpovídá libovolnému jednomu stupni hierarchie. Například pro odebírání všech senzorů vlhkosti lze použít adresu `/senzory/+/vlhkost`.
  - Modifikátor `#` – odpovídá libovolnému počtu libovolných stupňů. Adresa `/senzory/#` tedy slouží k odebírání všech dat.

V případě této práce by tedy jak nadřazený systém, tak podřízené systémy byly klienty *brokeru*. Podřízené systémy by publikovaly naměřená data, která by nadřazený systém odebíral. Samotný *broker* by pak mohl běžet souběžně s nadřazeným systémem na zvolené platformě (například open-source *broker* Mosquitto je dostupný na řadě platforem, včetně Raspberry Pi [12]).

Protokol podporuje tři možnosti QoS [10]:

- Nejvýše jedno doručení – tento mód pouze odešle zprávu, není zahrnut žádný opakovací mechanismus pro případ nedoručení.
- Alespoň jedno doručení – v tomto módu je zaručeno doručení zprávy, ta však může být doručena vícekrát.
- Přesně jedno doručení – zde je ošetřeno i duplicitní doručování zpráv.

Použití sofistikovanějších metod doručení má vliv na výkon, a proto se v některých případech vyplatí zvolit nižší úroveň QoS (například při posílání idempotentních zpráv). Pro tuto práci bych však pravděpodobně zvolil záruku přesně jednoho doručení.

2.2.3.1 Šifrování a autentizace na MQTT

V této části se budu zabývat prostředky pro šifrování komunikace, které jsou dostupné v *brokeru* Mosquitto.

První možnost je pro zabezpečení komunikace využít certifikáty, podobně jako u HTTPS. Zde by se pravděpodobně také využil *self-signed* certifikát (blíže popsaný v sekci 2.2.2.1). Mosquitto navíc také vyžaduje kořenový certifikát certifikační autority [13]. Při použití *self-signed* ceritifikátů by bylo nutné tuto autoritu vytvořit a používané certifikáty u ní podepsat (pro bližší informace viz [14]). Kořenový certifikát by také bylo nutné distribuovat klientům.

Kromě certifikátů lze pro šifrování použít i PSK. V tom případě *broker* a jeho klienti používají pro zašifrování komunikace společný klíč (známý jak klientovi, tak *brokeru*). Různí klienti přitom mohou mít různé klíče. [15]

Bohužel podpora PSK v MQTT klientech není příliš rozšířená. PSK je možné použít v knihovně libmosquitto, určené pro C/C++ (s vazbami pro Python). U této knihovny se mi však podařilo najít pouze manuálovou stránku (viz [16]), bez informací o jejím dalším vývoji či udržování. Modul poskytující vazby do Pythonu byl nicméně předán projektu Paho [17].

Paho poskytuje implementace MQTT klientů pro mnoho platforem (včetně například Arduina [18]). Dokumentace klientů pro C++ a Python však možnost šifrování pomocí PSK vůbec nezmiňuje [19] [20].

Tyto možnosti lze použít i k autentizaci klientů *brokeru*. Při použití certifikátů lze v konfiguračním souboru Mosquitta zvolit `require_certificate` [15]. Poté bude od klienta vyžadován certifikát prokazující jeho totožnost. Při použití PSK lze k autentizaci využít sdílený klíč (*broker* odmítne klienty s neplatnými klíči) [15]. Kromě toho je možno použít také autentizaci pomocí uživatelského jména a hesla, která je součástí MQTT protokolu, případně klienty neověřovat vůbec (a pouze šifrovat komunikaci) [15].

2.2.4 Závěr výběru protokolu

V sekcích 2.2.2 a 2.2.3 jsem se blíže podíval na dva poměrně rozšířené protokoly aplikační vrstvy, které by bylo možné použít pro tvorbu nadřazeného systému.

Pokud by mezi požadavky na systém bylo zahrnuto zasílání nevyžádaných zpráv podřízeným systému (jak je zmíněno v sekci 2.1), zvolil bych pravděpodobně protokol MQTT. V tom je tato funkcionalita velmi snadno implementovatelná – stačí aby podřízené systémy odebíraly *topic*, na kterém by nadřazený systém publikoval zprávy.

Jelikož se však v této práci zabývám systémem, který zprávy pouze přijímá a zaznamenává, rozhodl jsem se pro HTTPS. Nasazení tohoto protokolu je o něco snazší (není potřeba na zařízení instalovat *broker* a zařizovat certifikační autoritu – stačí *self-signed* certifikát) a s jeho použitím mám více zkušeností. Také se částečně uvolní požadavky na volbu platformy (webový server bude potřeba v každém případě, při volbě HTTPS jako komunikačního protokolu mezi systémy tedy nebude nutný žádný další software).

Každopádně bude mým cílem navrhnout výslednou aplikaci tak, aby rozhraní pro podřízené systémy realizované pomocí HTTPS bylo možné snadno nahradit MQTT rozhraním.

K zabezpečení komunikace (včetně webového rozhraní) použiju *self-signed* certifikát. Hlavní důvod je požadavek na použití v místní síti, bez zaručeného přístupu k internetu. Toto rozhodnutí nemá vliv na návrh a implementaci systému, pouze na jeho nasazení – konkrétně konfiguraci webového serveru.

Pokud by provozovatel plánoval mít systém přístupný z internetu (přes registrovanou doménu), musí v každém případě k zabezpečení použít certifikát podepsaný důvěryhodnou certifikační autoritou. Pak stačí pouze v konfiguračním souboru webového serveru nahradit *self-signed* certifikát podepsaným certifikátem. Není tedy nutné provádět změny v kódu aplikace.

2.3 Ukládání dat

Zaznamenané události bude potřeba presistentně uchovávat. Zde by šly využít jednoduché textové logy, vhodnější však bude zvolit nějaký databázový systém – například kvůli širším možnostem zpracování naměřených údajů.

Z dostupných možností mě zaujal SQLite, což není klasický databázový stroj s modelem *client/server*, ale místo toho tvoří součást programu, který databázi používá. Přístup k datům je realizován pomocí přímého čtení/zápisu do databázového souboru na disku. Díky tomu má malé nároky na diskový prostor a operační paměť. [21]

Jelikož bude nadřazený systém pravděpodobně provozován na hardwaru s omezenými zdroji, představují tyto vlastnosti nezanedbatelnou výhodu. Použití SQLite také zjednouší nasazení aplikace, neboť nebude nutné vytvářet a konfigurovat databázový server.

2.3.1 Velikost databáze

Vzhledem k požadavku na spolehlivost systému je vhodné odhadnout předpokládaný růst velikosti databázového souboru. Příliš velká databáze by mohla vyčerpat pamět zařízení, a způsobit tak jeho pád. Také by mohla negativně ovlivnit dobu odezvy nadřazeného systému.

Pokud by se ukázalo, že při dlouhodobém provozu začíná být databáze neúnosně velká, bylo by nutné omezit množství uchovávaných dat, například pomocí front zaznamenaných událostí.

Při odhadu jsem vycházel z předpokladu, že největší objem dat v databázi budou představovat zaznamenaná kontrolní hlášení podřízených systému. Pokud se budou podřízené systémy hlásit každou hodinu, představuje 24 záznamů denně na každou garáž, což by mělo být řádově více než u jiných událostí. Například u pravděpodobně druhé nejčastější události, tedy otevření/zavření dveří, předpokládám nejvýše jednotky denně.

Událost kontrolního hlášení by měla obsahovat tyto údaje:

- Identifikátor události v databázi.
- Identifikátor garáže, ke které událost patří.
- Datum a čas zaznamenání události.
- Datum a čas dalšího plánovaného hlášení.

Jako identifikátory pravděpodobně budou stačit 32bitová celá čísla. Datum je možné v SQLite ukládat buď jako textový retězec ve formátu `YYYY-MM-DD HH:MM:SS.SSS`, reálné číslo, či 32bitové cele číslo – *Unix Time* [22]. Z toho vyplívá, že jedno kontrolní hlášení bude mít velikost alespoň $4 * 32 = 128$ bitů.

Pokud nadřazený systém monitoruje 30 garáží, kde každá odesílá kontrolní hlášení každou hodinu, jsou každý den vytvořeny záznamy o velikosti $30 *$

$24 * 96 = 98304$ bitů, tedy asi 98 Kb. Dá se tedy předpokládat, že velikost databázového souboru neporoste nijak dramaticky.

Tento výpočet představuje pouze odhad předpokládané velikosti. Skutečná velikost bude záležet na zvolené implementaci, neměla by se však výrazně lišit od tohoto odhadu.

2.4 Zasílání notifikací

Nadřazený systém má být schopen zasílat uživatelům notifikace o stavu jednotlivých garáží. Notifikace mohou informovat o důležité události (například detekce kouře) nebo o výpadku podřízeného systému (v případě promeškání plánovaného kontrolního hlášení).

Notifikace jsou zasílány pomocí e-mailu na seznam adres zvolených uživatelem. K tomu je zapotřebí vytvořit účet, který by mohl nadřazený systém použít k odesílání.

Zde se nabízí možnost provozovat e-mailový server s účtem přímo na zařízení, na kterém poběží nadřazený systém. Provoz takového serveru je však velmi náročný, a to nejen kvůli složité počáteční konfiguraci, ale také z hlediska dlouhodobé údržby [23]. Tento přístup by tak kladl neúměrné nároky na uživatele systému.

Alternativa je použít nějakého poskytovatele e-mailových služeb, jako například Gmail od společnosti Google. Zde by si uživatel vytvořil účet určený k odesílání notifikací, a poté autorizoval nadřazený systém k odesílání zpráv z tohoto účtu.

Tímto je částečně porušen požadavek na nezávislost (viz sekci 2). Při zasílání notifikací je však nutný přístup k internetu i v případě použití vlastního e-mailového serveru a nezávislost na externí službě nevyváží komplikace spojené s jeho provozem.

2.5 Programovací jazyk pro tvorbu systému

Pro tvorbu systému jsem se rozhodl použít programovací jazyk Python [8]. S tímto jazykem mám nejvíce zkušeností co se týče implementace webových aplikací. Je také dostatečně rozšířený, takže výsledný systém bude možné nasadit na poměrně širokém spektru platforem bez nutnosti složitějšího portování.

K vytvoření webového rozhraní i API pro podřízené systémy jsem zvolil framework Flask [24]. Hlavní důvod jsou opět předchozí zkušenosti s tímto frameworkem. Flask také dává více volnosti při návrhu aplikace než například také velmi rozšířený framework Django [25].

2.6 Výběr platformy

Pro realizaci systému je nutné zvolit vhodnou platformu. Jelikož je cílem práce vytvořit fyzické zařízení, rozhodl jsem se jako základ použít některý z jednodeskových počítačů, které jsou v dnešní době na trhu. Tyto počítače bývají cenově velmi dostupné a zároveň poskytují dostatečný výkon a podporu pro provoz systému.

Při výběru počítače byla nejdůležitejším kritériem podpora softwaru potřebného k implementaci monitorovacího systému. Na základě předchozí analýzy je tedy vyžadován následující software:

- Webový server Apache2.
- Databázový systém SQLite.
- Programovací jazyk Python 3.
  - Webový framework Flask.

Pro provoz tohoto softwaru bude potřeba plnohodnotný operační systém, což vylučuje platformy využívající jednoduché mikrokontroléry, jako například Arduino Uno. Kromě toho je nutné připojení k síti pomocí Ethernetu nebo WiFi.

V dalších sekcích jsem se blíže podíval na jednodeskové počítače Raspberry Pi (sekce 2.6.1) a Zybo Zynq-7000 (sekce 2.6.2) a zvážil jejich výhody a nevýhody pro implementaci systému.

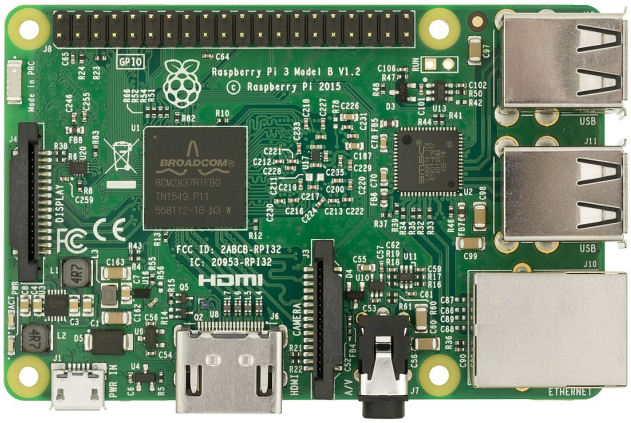
2.6.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi je velmi rozšířený jednodeskový počítač. Jeho poslední verze, Raspberry Pi 3, je postavena na SoC Broadcom BCM2837 s čtyřjádrovým procesorem ARM Cortex A53, který je až o 50 % rychlejší než procesor předchozí verze [26].

Dále nová verze přináší vlastní WiFi modul [26], není tedy nutné se spoléhat na externí moduly. Kromě toho je možné počítač připojit k síti pomocí Ethernetového portu. Ten je omezený na 100 Mb/s [26], to by však vzhledem k objemu dat přenášených mezi nadřazeným a podřízenými systémy nemělo představovat problém.

Deska také obsahuje čtyři USB a jeden HDMI port [26]. Ty nejsou pro implementovaný systém zásadní, nicméně při počáteční konfiguraci zařízení (například nastavení WiFi hesla) může být připojení monitoru a klávesnice pro některé uživatele pohodlnější než použití SSH či sériové linky. Připojený monitor se také hodí při řešení problémů se startem operačního systému.

Raspberry Pi 3 bohužel nemá vlastní bateriově zálohovaný RTC obvod a k udržování času využívá protokol NTP [27]. K tomu je však zapotřebí internetové připojení. Jelikož by zařízení mělo být možné používat i v síti bez



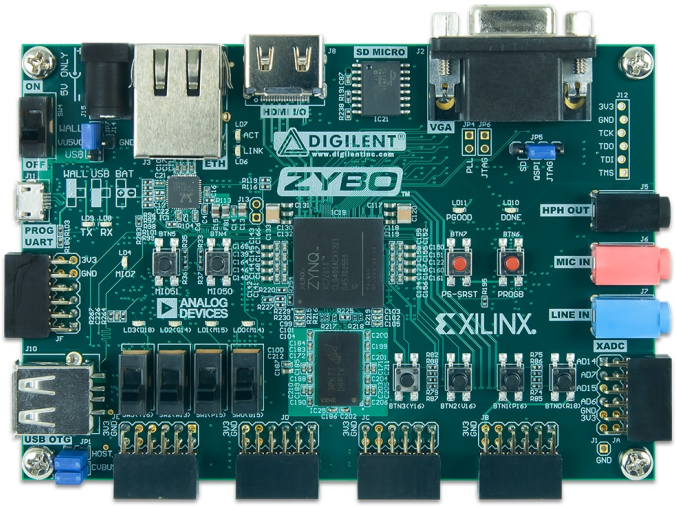
Obrázek 2.3: Raspberry Pi 3 (obrázek převzat z `https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi`)

přístupu k internetu, je nutné připojit externí RTC obvod, například pomocí I2C sběrnice [27]. Poté je možné systémové hodiny synchronizovat bez internetového připojení pomocí tohoto obvodu.

S počítačem je možné použít množství operačních systémů, z nichž nejrozšířenější je pravděpodobně Raspbian, linuxový systém postavený na Debianu [28]. Pro ten jsou dostupné všchny potřebné softwarové balíčky popsané v sekci 2.6. Jelikož počítač nemá žádné vlastní úložiště, je nutné operační systém provozovat na vložené SD kartě [26].

Jednou z výhod tohoto počítače je obrovské množství podporovaných hardwarových periferií a knihoven pro ně. V této práci pravděpodobně využiju pouze zmíněný RTC obvod, případné další rozšiřování systému (například o vestavěný LCD displej) bude na Raspberry Pi pravděpodobně snadnější než na jiných platformách.

Kromě široké podpory je hlavní výhodou Raspberry Pi jeho cena. Poslední verze se pohybuje kolem 1200 Kč. K celkovým nákladům na systém je ještě třeba připočítat cenu RTC obvodu a SD karty. Zde počítám s použitím již připraveného modulu s obvodem PCF8523 (pro bližší informace o modulu viz [27]). Ten vyjde asi na 200 Kč. Jako úložiště by měla plně dostačovat 16GB SD karta, která se dá pořídit za 200 Kč. Celkové náklady na hardware systému se tedy měly pohybovat kolem 1600 Kč[2].



Obrázek 2.4: Připravek Zybo Zynq-7000 (obrázek převzat z `https://www.xilinx.com/products/boards-and-kits/1-4azfte.html`)

2.6.2 Zybo Zynq-7000

Tento přípravek od společnosti Digilent je postavený na SoC Xilinx Zynq Z-7010. Hlavní předností tohoto čipu je kombinace dvoujádrového procesoru ARM Cortex A9 s FPGA odpovídající sérii Artix-7 [29].

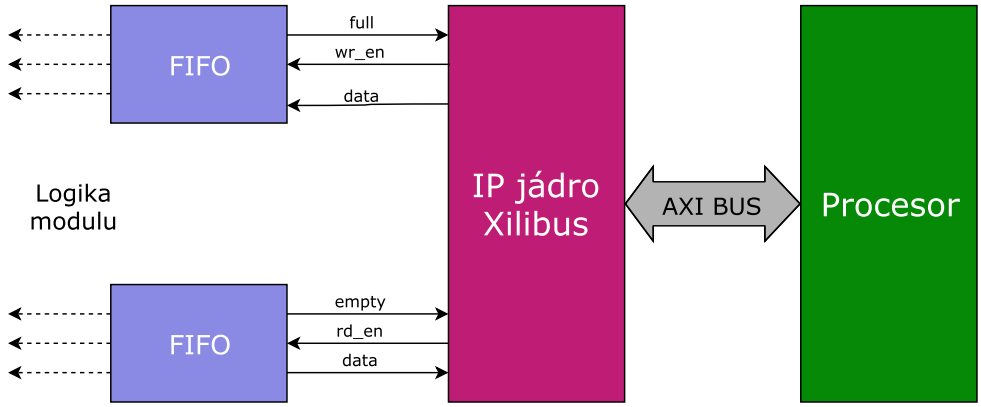
Díky tomu je možná těsná integraci mezi aplikací běžící na procesoru a výkonnými, úzce specializovanými moduly, které jsou syntetizované na FPGA. Tento přístup, kdy je hardware a software systému vyvíjen souběžně se označuje jako *hardware/software codesign* [30].

Pro SoC ze série Zynq vznikla linuxová distribuce Xilinux, vycházející z Ubuntu. Kromě plnohodnotného operačního systému (včetně například grafického rozhraní) poskytuje Xilinux také ovladače pro komunikaci s FPGA pomocí AXI sběrnice [31]. K tomu využívá IP jádro Xilibus, které funguje jako adaptér mezi procesorem a FPGA modulem (viz obrázek 2.5). Ten pak ke komunikaci může využívat standardni FIFO fronty a nemusí se zabývat AXI sběrnicí [31].

Jelikož Xilinux staví na Ubuntu (konkrétně na verzi 12.04 LTS [31]), neměl by být problém nainstalovat software potřebný pro provoz nadřazeného systému (viz sekci 2.6).

Přípravek je možné připojiř k síti pomocí Ethernetového portu, který podporuje rychlost až 1Gb/s [29]. WiFi připojení by bylo možné realizovat pomocí USB modulu. Dále přípravek obsahuje HDMI a VGA port, audio konektory, čtyři tlačítka, čtyři přepínače a slot pro SD kartu [29].

[2]Ceny převzaté z obchodů Alza (`https://alza.cz`) a SnailShop(`www.snailshop.cz`), v únoru 2018.



Obrázek 2.5: Blokové schéma využití IP jádra Xilibus [31]. Procesor přípravku komunikuje pomocí AXI sběrnice s jádrem Xilibus. To požadovaná data zapíše či přečte z FIFO fronty příslušného modulu

Na přípravku je také k dispozici 128 MB flash paměti [29], k provozu tedy teoreticky není potřeba SD karta. Tato paměť by však pravděpodobně nestačila k instalaci vhodného operačního systému a potřebného softwaru. I zde by tedy bylo nutné použít SD kartu.

Stejně jako Raspberry Pi tato deska postrádá RTC obvod. Firma Digilent však dodává externí obvod, který lze připojit pomocí Pmod rozhraní [32].

Nevýhodu této desky (především v porovnání Raspberry Pi) je její cena. Ta se pohybuje okolo 4000 Kč[3]. K tomu je nutné přičíst náklady na SD kartu a RTC obvod, případně i WiFi modul. Cena celého zařízení by se tedy pohybovala v rozmezí 4500 až 5000 Kč.

2.6.3 Závěr výberu platformy

Jak vyplívá z tabulky 2.1, Raspberry Pi 3 poskytuje znatelně výkonnější procesor a více paměti za méně než třetinu ceny desky Zybo. Hlavní přidaná hodnota této platformy tedy spočívá v integraci s FPGA, ta má však v případě této práce pouze velmi omezené využití.

FPGA by bylo možné využít například k šifrování úložiště, vzhledem k předpokládáným objemům dat by však zrychlení oproti softwarovému šifrování neospravedlnilo vysokou cenu přípravku. Na druhou stranu vyšší výkon procesoru u Raspberry Pi může mít pro nadřazený systém význam, například z hlediska odezvy uživatelského rozhraní.

[3]Cena podle produktové stránky `https://www.xilinx.com/products/boards-and-kits/1-4azfte.html`, v únoru 2018.

	Raspberry Pi 3	**Zybo Zynq-7000**
SoC	Broadcom BCM2837	Xilinx Zynq Z-7010
Procesor	ARM Cortex A53	ARM Cortex A9
	4 jádra, 1,2 GHz	2 jádra, 650 MHz
RAM	1024 MB LPDDR2	512 MB DDR3
FPGA	–	ekvivalent řady Artix-7
Úložiště	SD karta	128 MB Flash, SD karta
Síť	100 Mb/s Ethernet, WiFi	až 1 Gb/s Ethernet
Cena	1200 Kč	4000 Kč

Tabulka 2.1: Srovnání platforem Raspberry Pi 3 a Zybo Zynq-7000

[26] [29]

Jako platformu pro implementaci nadřazeného systému jsem tedy zvolil Raspberry Pi 3, především kvůli příznivé ceně, výrazně lepšímu poměru cena/výkon (pro tuto práci), a také kvůli podpoře a rozšiřitelnosti.

2.6.4 Provoz aplikace na cloudové platformě

V této části bych chtěl popsat alternativu k provozu systému na dedikovaném zařízení, a to možnost využít virtuální server na některé cloudové platformě. Primární cíl práce je sice vytvořit nadřazený systém jako jednoúčelové zařízení (postavené na Raspberry Pi), nicméně provoz výsledné aplikace v cloudu může být v určitých situacích vhodnější řešení.

Jedním z možných uplatnění této varianty je monitorování více garážových komplexů. Místo lokálního nadřazeného systému by mohly všechny podřízené systémy z každého komplexu komunikovat s jedním globálním systémem, provozovaným na virtuálním serveru a dostupným z internetu, jak je naznačeno na obrázku 2.6.4. Při tomto provozu je však nutnost mít registrovanou doménu a zabezpečit spojení podepsaným certifikátem.

Virtuální servery nabízí například firma DigitalOcean. Cena serveru závisí na počtu výpočetních jader, dostupně RAM a velikosti úložiště. Nejlevnější konfigurace přijde na 5 dolarů měsíčně a nabízí jednojádrový procesor, 1 GB RAM a 25 GB SSD [33]. Předpokládám, že tento výkon by stačil pro základní provoz systému, v případě vyššího počtu podřízených systémů je však možnost zvyšovat dostupnou RAM a jádra CPU.

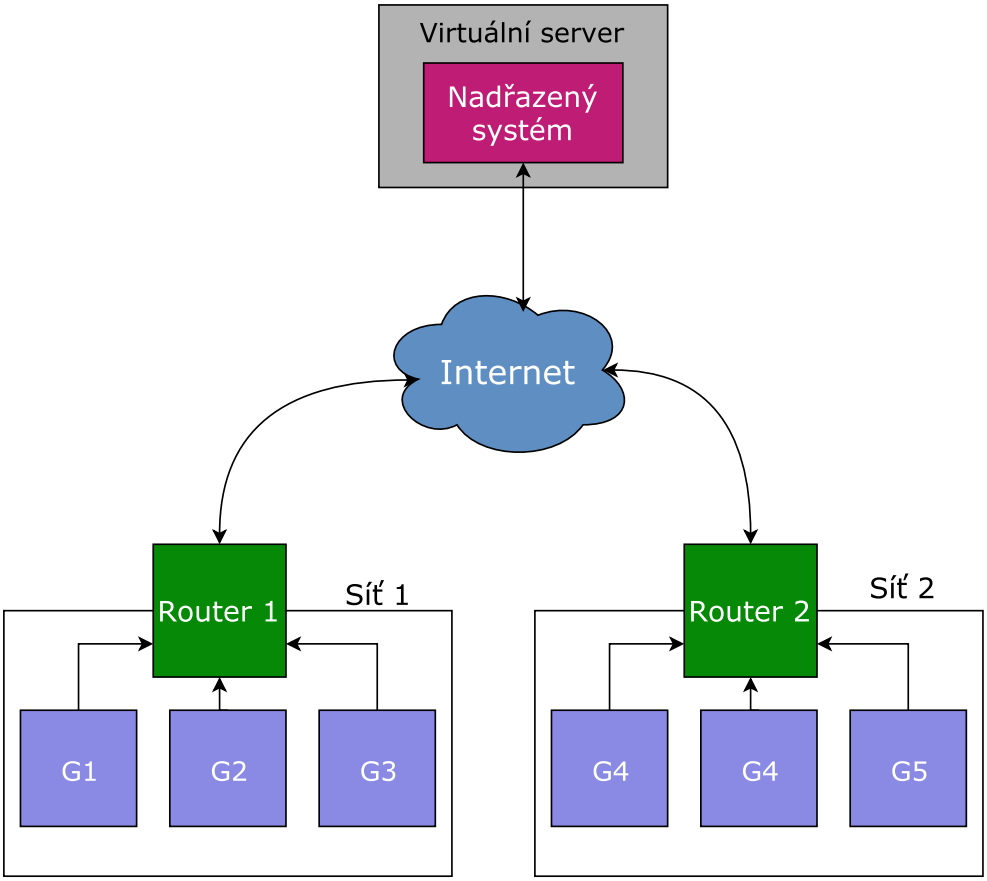
S těmito virtuálními servery lze použít řadu běžných linuxových operačních systémů jako Ubuntu, Debian či Fedora [34], dostupnost softwaru potřebného pro spuštění aplikace tedy není problém.

Hlavní nevýhodou tohoto přístupu je poněkud složitější nasazení a spuštění systému. Registrace domény, získání certifikátu a základní konfigurace webového serveru se dá sice částečně automatizovat (viz zmiňovaný Certbot [5]), pro většinu uživatelů bude však pravděpodobně snazší použít již připravené

Raspberry Pi.

Také je složitější distribuovat adresu serveru s nadřazeným systémem podřízeným systémům. V místní síti může podřízený systém sám nalézt nadřazený systém testováním odpovědi zařízení v síti na registrační požadavek. Pokud by však byl nadřazený systém dostupný pouze na internetové doméně, bylo by nutné ji ručně zadat každému podřízenému systému.

Další problém může představovat hlavní výhoda tohoto řešení, a to přístupnost serveru z internetu. Ta významně zvyšuje *attack surface* celého nadřazeného systému, zvlášt oproti alternativě využívající k propojení systémů pouze Ethernet u kterého má (na rozdíl od WiFi) provozovatel fyzický přehled o připojených zařízeních.



Obrázek 2.6: Struktura systému provozovaného na virtuálním serveru. Podřízené systémy nezasílají požadavky lokálnímu nadřazenému systému v místní síti, ale globálnímu nadřazenému systému, který je veřejně přístupný na internetu

Kapitola 3

Návrh

3.1 Návrhový vzor MVC

Struktura nadřazeného systému je vhodná k použití návrhového vzoru MVC, tedy *model-view-controller*. *Model* zde představují garáže (podřízené systémy), k nim vázané události a logika jejich vyhodnocování.

View je zobrazení těchto dat, tedy především generované HTML stránky webového rozhraní. Jako další *view* je možné považovat získávání dat (například ve formátu JSON) pomocí API nadřazeného systému, třeba při zasílání registračních klíčů podřízeným systémům.

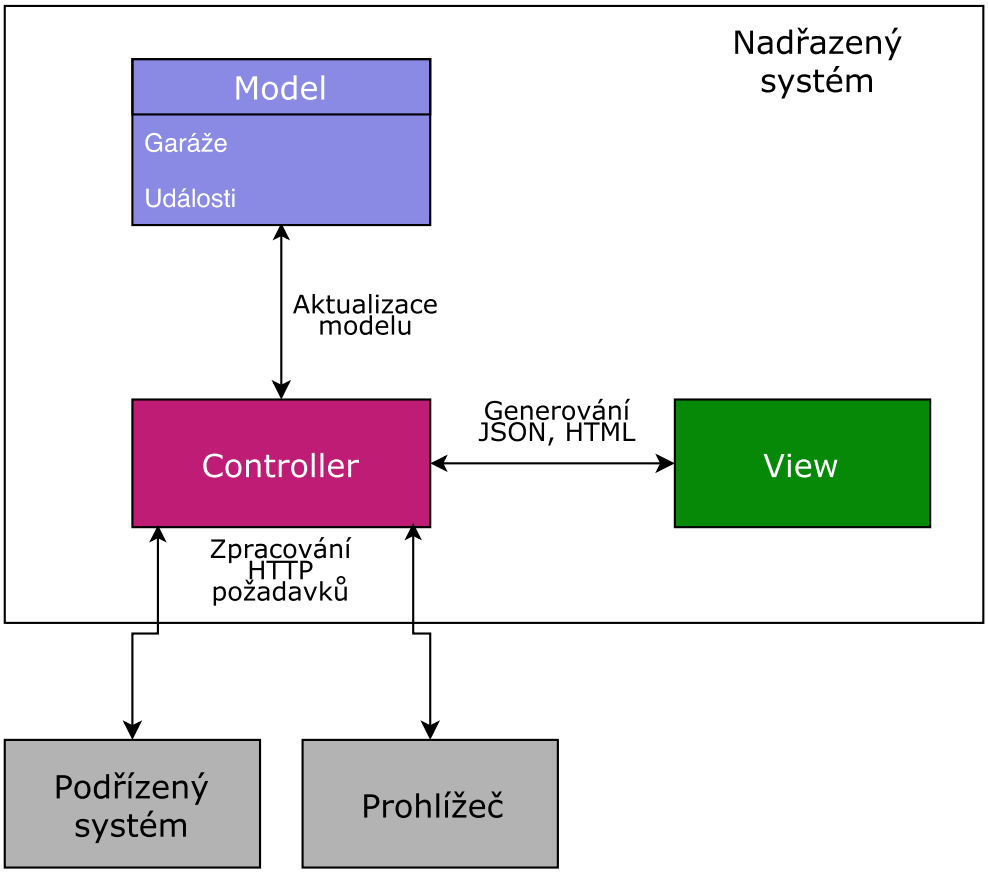
Controller je pak část aplikace, která se stará o zpracování HTTP požadavků. Ty mohou přicházet jednak z uživateloval prohlížeče, jednak od podřízených systémů. Na základě těchto požadavků pak *controller* posílá příslušné příkazy *modelu*. Struktura aplikace při použití vzoru MVC je naznačena na obrázku 3.1.

Hlavní motivací pro použití tohoto vzoru je snadná rozšiřitelnost. Pokud by například bylo potřeba aplikaci doplnit o komunikaci s podřízenými systémy pomocí MQTT, stačí pouze vytvořit vhodný *controller*. Ten pak může využívat *model* aplikace stejným způsobem jako HTTP *controller*.

Tento návrhový vzor popisuje pouze nadřazený systém spravující garáže. Kromě toho je součástí aplikace ještě autentizace uživatele při přístupu do uživatelského rozhraní. Tuto funkci jsem se rozhodl pojmout jako samostatnou komponentu, popsanou v sekci 3.5.

3.2 *Model*

Model představuje jádro nadřazeného systému. Je zde implementována vnitřní reprezentace uchovávaných dat, což jsou především zaznamenané události. Každá událost má také svého původce, tedy garáž (přesněji podřízený systém v této garáži).



Obrázek 3.1: Struktura MVC aplikcace. Uživatel i podřízený systém používají aplikaci pomocí *controlleru*. Ten definuje příslušná URL a zpracovává požadavky na ně – aktualizuje *model*, případně doručí odpovídající *view*

Kromě toho *model* implementuje *business logiku* sytému, tedy například vytváření nových garáží (registraci podřízených systémů) či reakce na příchozích události.

Ostatní části aplikace (*view* a *controller*) používají *model*, bez znalosti jeho vnitřní struktury, pomocí následujících operací:

- **Vytvoření garáže** – registrace nového podřízeného systému. V případě vytváření pomocí API (tj. přímo podřízeným systémem) vyžaduje operace zapnutý registrační mód. Pokud je nová garáž vytvářena ve webovém rozhraní, registrační mód není vyžadován.
- **Editace garáže** – například změna označení.

- **Smazání garáže** – smazáním garáže dojde k odstranění zaznamenaných událostí a zneplatnění příslušného API klíče.
- **Zneplatnění API klíče** – odepření přístupu podřízenému systému bez nutnosti smazání garáže a s ní spojených událostí.
- **Zapínání/vypínaní registračního módu** – v tomto módu je možné vytvářet nové garáže na základě požadavku od podřízeného systému. Bližší informace jsou v sekci 3.2.1.1.
- **Přístup k uloženým datům** – obecně operace typu získání všech garáží nebo všech událostí vázané ke konkrétní garáži.
- **Vytvoření události** – základní požadavek využívaný podřízenými systémy.

Vnitřně pak model na základě těchto operací autentizuje pomocí API klíčů požadavky podřízených systému, validuje zaslaná data a spravuje databázi nadřazeného systému.

3.2.1 Garáž – `Garage`

Třída `Garage` reprezentuje konkrétní podřízený systém a uchovává s ním spojená data:

- `id` – identifikace entity v databázi.
- `tag` – uživatelem zvolené označení garáže. To slouží pro snadnější orientaci ve webovém rozhraní (uživatel nemusí garáže rozlišovat podle nic neříkajícího `id`).
- `note` – poznámka pro další popis garáže.
- `api_key` – klíč umožňující přístup k API systému. Ten je také zaslán zařízení při jeho registraci. Generování a správa klíčů je blíže popsána v sekci 3.2.1.2.
- `last_report` – datum a čas posledního kontrolního hlášeí.
- `next_report` – datum a čas dalšího očekávaného hlášení.
- `period` – perioda kontrolních hlášení.
- `state` – stav garáže (otevřeno/zavřeno).
- Seznam událostí spojených s touto garáží.

3.2.1.1 Vytváření nových garáží

Nové garáže mohou v systému vznikat dvěma způsoby. První možnost je vytvoření nové garáže přímo v uživatelském rozhraní. Po vytvoření se zde zobrazí vygenerovaný API klíč, který je potřeba nahrát na příslušný podřízený systém. Způsob nahrávání by závisel na příslušném hardwaru (například sériová linka). Tato možnost je určena především pro podřízené systémy, které by nepodporovaly zaslání registračního požadavku a nevyžaduje zapnutý registrační mód.

Druhá možnost je použít registrační mód. V tom případě je nová garáž vytvořena na základě registračního požadavku podřízeného systému. Vygenerovaný API klíč je při tom zaslán jako odpověď na požadavek, a není tedy nutné ho ručně nahrávat. Registrační mód je možné aktivovat v uživatelském rozhraní. Pokud mód není aktivovaný, nadřazený systém odmítne všechny požadavky na registraci zaslané tímto způsobem.

3.2.1.2 API klíče

Podřízené systému se při zasílání událostí přes API prokazují klíčem. Ten slouží jednak k zamezení příjmu událostí od neautorizovaných systému, jednak k identifikaci původu události (zdrojové garáže) v rámci nadřazeného systému. Podřízený systém tedy nemusí znát `id` garáže, ale jen `api_key`.

Vzhledem k těmto požadavkům nelze použít jeden univerzální, ale je nutné pro každý registrovaný podřízený systém vygenerovat unikátní klíč. Ten je pak spolu s dalšími záznamy o garáži uložen v databázi systému. K vytváření klíčů jsem se rozhodl použít systém UUID, umožňující generování náhodných klíčů délky 128 bitů, které jsou (pro praktické účely) unikátní [35].

Klíče je možné v uživatelském rozhraní zneplatnit, a tím odepřít přístup zvolenému podřízenému systému. Tuto operaci lze provést dvěma způsoby. V prvním případě lze smazat z databáze celý záznam příslušné garáže. Tím dojde k zneplatnění jejího klíče, ale také k odstranění zaznamenaných událostí.

Pokud si uživatel přeje data o událostech uchovat, může pouze vygenerovat nový API klíč. Přepsáním klíče se opět zneplatní přístup podřízeného systému (který má stále starý klíč), ale uchovají se zaznamenaná data.

Nově vygenerovaný klíč pak uživatel může nahrát na jiný podřízený systém, a tím například nahradit odcizené monitorovací zařízení. V tomto případě nelze pro nahrání klíče použít registrační mód nadřazeného systému. Ten totiž vždy počítá s vytvořením nové garáže.

Vygenerované klíče jsou v databázi uloženy v čitelné podobě. Klíče by bylo možné před uložením *hashovat*, čímž by při úniku databáze nedošlo k jejich prozrazení. V tom případě by byl klíč v čitelné podobě v uživatelském rozhraní zobrazen pouze jednou, při vytvoření nové garáže. Dále už by byl uchováván jeho *hash*.

Pro ukládání klíčů v čitelné podobě jsem se rozhodl především z důvodů snadného ladění při implementaci nadřazeného a podřízených systémů. Funkci *hashování* klíčů by v případě potřeby neměl být problém doplnit.

3.2.2 Událost – `Event`

Třída `Event` představuje událost zaznamenanou podřízeným systémem. Jak bylo zmíněno v sekci 3.1, jsou tyto události vázány ke konkrétním garážím, kdy každá událost má jednoznačně určeného původce, a každá garáž libovolné množství událostí.

Nadřazený systém rozlišuje dva druhy událostí. Kontrolní (plánované) události slouží ke kontrole funkčnosti podřízených systémů. Tyto události jsou odesílány v pravidelném intervalu, určeném nadřazeným systémem. Ten v odpovědi na požadavek s kontrolní událostí zašle očekávaný čas (počet minut) do dalšího hlášení. Kontrolní událost nezasílá žádná data, funguje pouze jako známka života podřízeného systému.

Kromě kontrolních hlášení mohou podřízené systémy vytvářet mimořádné události. Mimořádná událost nastane při překročení mezních hodnot některého z čidel (tedy detekce kouře, pohybu či otevření/zavření dveří).

Základní třída `Event` a podtřídy `ReportEvent` a `SensorEvent` obsahují tyto údaje:

- `id` – identifikace entity v databázi.
- `timestamp` – časové razítko.
- Garáž, která je původcem události.
- `ReportEvent` dále obsahuje:
  - `next_report` – datum a čas dalšího očekávaného hlášení.
- `SensorEvent` dále obsahuje:
  - `type` – typ senzoru.
  - `value` – naměřená hodnota ????

tady asi fakt pouzijem ty podtridy typu `OpenDoorEvent` atp.

3.2.2.1 Vyhodnocení události

notifikace atd..., mozna tuhle sekci nak premenovat.

3.2.3 Fasáda

na tu fasádu asi fakt dojde, protoze budu potrebovat neco co zakreje ten pristup k modelu, registracnimu modu a konfiguraku (`user_config.ini`), co se bude volat z toho main a api kontroleru

3.3 Controller

Flask API

3.3.1 API

dulezita je idempotence prikazu, tj. bude prikaz na udalost votevreno a na udalost zavreno ale ne toggle, aby se nerozbil stav garaze na serveru.

3.4 View

3.5 Autentizace uživatele

Do webového rozhraní aplikace je povolen pouze autorizovaný přístup, a je tedy nutné nějakým způsobem ověřit identitu uživatele. Jelikož aplikace nepočítá s odlišnými stupni přístupu (a tedy každý uživatel s přístupem do rozhraní má přístup ke všem jeho částem), rozhodl jsem se, že nebudu vytvářet infrastrukturu uživatelských účtů, protože by měla pouze omezené využití.

Přístup do rozhraní tedy nevyžaduje vytvoření účtu a zadávání uživatelského jména, ale pouze heslo. *Hash* tohoto hesla (doplněného solí), vytvořený pomocí algoritmu Bcrypt, je uložen v souboru s uživatelským nastavením aplikace.

Hashování hesla je zde použito především pro případ, že by uživatel použil stejné heslo jaké používá v jiných aplikacích či službách. V případě prozrazení uživatelských dat (například při odcizení systému) tedy útočník nemůže z otisku zjistit původní použité heslo, tudíž přístup k těmto uživatelovým účtům není kompromitován.

Stejně tak někdo s přístupem k serveru, na kterém nadřazený systém běží, nemá automaticky přístup do webového rozhraní. Nicméně má stále přístup k celé (nešifrované) databázi a také může heslo libovolně měnit (spočítáním nového otisku), tedy z praktického hlediska je přístup k serveru téměř ekvivalentní s přístupem do webového rozhraní.

3.5.1 První přihlášení

Při prvním startu nadřazeného systému je zvoleno jednoduché implicitní heslo (*password*), kterým se uživatel může přihlásit do webového rozhraní.

Pokud nadřazený systém detekuje použití tohoto hesla, po přihášení uživatele ihned přesměruje na stránku umožňující změnu hesla a zobrazí příslušné varování.

3.6 Uživatelské nastavení

este teda napsat ze vsechny ty veci spojeny s uzivatelem nebudou ulozeny v ty databazi ale jen v nakym konfiguraku (veci jako heslo a pripadne ten notifikacni mail)

Kapitola 4

Implementace

co sme vsechno pouzili pri implementaci:

- dekoratory – viz `http://flask.pocoo.org/docs/0.12/patterns/viewdecorators/`
- bcrypt na hashovani hesel
- wtforms, (csrf je proste soucati toho FlaskFormu, nak to popsat jak je to pouzity)
- jinja – generovani html, pouzivani maker a tak
- pouziti sqlalchemy (`http://flask-sqlalchemy.pocoo.org/2.3/quickstart/#a-minimal-application`)
- pouziti flask blueprintu (`http://flask.pocoo.org/docs/0.12/blueprints/`) – tohle mozna probrat uz v narvrhu – jaky budem mit moduly a tak
- zakladni struktura aplikace zalozena na `https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-structure-large-flask-applications#working-with-modules-and-blueprints-(components)`
- budem pouzivat asi gmail k posilani notifikaci. tam se daj z pythonu posilat bud pres nakyho smtp klienta (coz je mozna debilni protoze tam musi bejt nekde ulozeny heslo v plaintextu) nebo pres to google api. Kdyz chcem jen posilat zpravy tak by mela staci autorizace pres api klice, viz [36] a taky `https://developers.google.com/api-client-library/python/apis/`, primo pro python.
- napsat ze pro add garage a revoke key misto normalni routy, getu a linku pouzivame formulare a post kvuli vochrane pred csrf, viz `https://stackoverflow.com/questions/6812765/how-to-demonstrate-a-csrf-attack`. Timhle utokem by nekdo moh vytvaret garaze a rusit api klice, coz neni naka velka skoda ale spis na votravovani no (u vostatnich veci (tj

hlavne change password) to bylo uz driv v pohode protoze byly pouzity ty flaskforms)

- v testovani je mozny tenhle utok demonstrovat a ukazat jak pekne nam to funguje (voproti ty prvni verzi kde byl na add garage normalne get). Ted se pri tim pokusu vo utok normalne zvobrazi invalid csrf token nebo tak neco. Pro porovnani zmen puvodni a vopraveny verze viz commit e52a54b2caa8eead85e8df28c738356a7541a1c4 (password redirect, to je posledni verze s timhle bugem)

- este teda napsat ze na api se tohle vubec nevstahuje, tohle vyuziva ty browserovy session, viz `https://stackoverflow.com/questions/5207160/what-is-a-csrf-token-what-is-its-importance-and-how-does-it-work`

- v sqlalchemy pouzivame pro dedicnost (trida event) joined table `http://docs.sqlalchemy.org/en/latest/orm/inheritance.html`

4.0.1 Flask Blueprints

v analyze akorat napsat ze tam budou naky komponenty (konkretne hlavne ten auth modul), ty blueprinty resit az pri implementaci tj tady
`http://flask.pocoo.org/docs/0.12/blueprints/`
rekneme ze budeme mit tri blueprinty (moduly):

- main modul – tady bude definovanej ten hlavni model, tj garaze, eventy a pripadne naka fasada na tim. Controller a view pak bude zprostredkovavat uzivatelsky rozhrani (krome loginu) webovy stranky. V timhle rozhrani pude proklikavat ty garaze a eventy, zapinat registraci mod a vytvaret/mazat garaze. To vytvareni garazi je hlavne kvuli nakejm dev options, primarne se budou garaze vytvaret skrz to api (tj tim cudlikem na podrizenym systemu). Vytvorit garaz v uzivatelskym rozhrani nebude vyzadovat zapnutej registracni mod, tj to bude uplne jinej pozadavek na uplnej jinej controller – ten v main modulu a ne v api modulu

- api modul – modul co bude zprostredkovavat api pro podrizeny systemy. tj tady se nebude generovat zadny html nebo veci pro uzivatelsky rozhrani, ale ciste jen zpracovavat pozadavky vod podrizenejch systemu. Modul bude vyuzivat tu fasadu z main modulu pro pristup k databazi (stejne jako main modul). Controller v timhle modulu bude teda resit pozadavky na vytvareni novejch garazi pomoci API. To jestli je zapnutej registracni mod bude resit ten model, v tim bude vodlisna funkce pro vytvoreni garaze pres reg. mod a pres rozhrani a prislusny controllery budou volat prislusnou funkci. Krome toho tenhle controller bude resit pozadavky na vytvoreni eventu.

- auth modul – tenhle modul bude resit ciste prihlaseni uzivatele do webovyho rozhrani

Z toho vypliva ze jadrem ty aplikace bude ten datovej model (garaze, eventy atd...) a fasada nad nim. Ta fasada by teda mela umet nasledujici veci (za pomlckou kterej modul to bude pouzivat):

- vytvorit garaz (pozadavek z web. rozhrani) – main
- vytvorit garaz (pozadavek z api – tj kontrola reg. modu) – api
- vypnout/zapnout reg. mod – main
- smazat garaz – main
- vratit vsechny garaze – main
- vratit konkretni garaz – main, (api?)
- vratit vsechny eventy – main
- vratit eventy ke garazi – main
- vytvorit event vazanej ke garazi – api
- kontrola klicu pozadavku vod api – api
- vnitrni udrzovani stavu garazi a vyhodnocovani udalosti – main, api

ten model by mozna nemel bejt cast zadnyho toho modulu (blueprintu) ale bejt zvlast, kdyz ho budou pouzivat dva moduly najednou. Ze by se instancioval v tim hlavnim init.py souboru podobne jako se tam instanciuje ta databaze

```
# ... code here ...

import numpy as np

def foo(a):
    print(a)

class FooBar:
    def __init__(self):
        self.b = 10

a = [1, 2, 3, 4]
for i in a:
    if i == 2:
        print("hello world")
```

Ukázka 2: Testovací listing

Kapitola 5

Testování

Závěr

Literatura

[1] Apache Software Foundation: Apache – Frequently Asked Questions. 2015, [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: https://wiki.apache.org/httpd/FAQ

[2] Arduino: Web Client. 2015, [cit. 2017-10-25]. Dostupné z: https://www.arduino.cc/en/Tutorial/WebClient

[3] Grokhotkov, I.: esp8266wifi – Client Example. 2017, [cit. 2017-10-25]. Dostupné z: https://github.com/esp8266/Arduino/blob/master/doc/esp8266wifi/client-examples.rst

[4] Electronic Frontier Foundation: Let's Encrypt – Frequently Asked Questions. 2017, [cit. 2017-11-07]. Dostupné z: https://letsencrypt.org/docs/faq/

[5] Electronic Frontier Foundation: Certbot – About. [cit. 2017-10-18]. Dostupné z: https://certbot.eff.org/about/

[6] Wallen, J.: When are self-signed certificates acceptable for businesses? 2017, [cit. 2017-11-08]. Dostupné z: https://www.techrepublic.com/article/when-are-self-signed-certificates-acceptable-for-businesses/

[7] Reitz, K.: Requests: HTTP for Humans. 2018, [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: http://docs.python-requests.org/en/master/

[8] The Python Software Foundation: The Python Tutorial. 2018, [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: http://flask.pocoo.org/

[9] Arduino: EEPROM Library. 2018, [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: https://www.arduino.cc/en/Reference/EEPROM

[10] Lampkin, V.: What is MQTT and how does it work with WebSphere MQ? 2012, [cit. 2017-10-25]. Dostupné z: https://www.ibm.com/developerworks/mydeveloperworks/blogs/aimsupport/entry/what_is_mqtt_and_how_does_it_work_with_websphere_mq?lang=en

[11] Jaffey, T.: MQTT and CoAP, IoT Protocols. 2014, [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: https://eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php

[12] Newsom, C.: Mosquitto Message Broker. 2016, [cit. 2017-11-16]. Dostupné z: https://github.com/mqtt/mqtt.github.io/wiki/Mosquitto-Message-Broker

[13] Light, R.: mosquitto.tls – Mosquitto Manual. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: https://mosquitto.org/man/mosquitto-tls-7.html

[14] Nguyen, J.: OpenSSL Certificate Authority. 2015, [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: https://jamielinux.com/docs/openssl-certificate-authority/

[15] Light, R.: mosquitto.conf – Mosquitto Manual. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: https://mosquitto.org/man/mosquitto-conf-5.html

[16] Light, R.: libmosquitto – Mosquitto Manual. [cit. 2017-11-21]. Dostupné z: https://mosquitto.org/man/libmosquitto-3.html

[17] Eclipse Foundation: Python – Mosquitto Documentation. [cit. 2017-11-21]. Dostupné z: https://mosquitto.org/documentation/python/

[18] Eclipse Foundation: Embedded MQTT C/C++ Client Libraries. [cit. 2017-11-21]. Dostupné z: http://www.eclipse.org/paho/clients/c/embedded/

[19] Eclipse Foundation: Paho C++ Documentation. [cit. 2017-11-21]. Dostupné z: http://www.eclipse.org/paho/files/cppdoc/index.html

[20] Eclipse Foundation: Paho Python Documentation. [cit. 2017-11-21]. Dostupné z: https://pypi.python.org/pypi/paho-mqtt

[21] Hipp, D. R.: About SQLite. [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: https://www.sqlite.org/about.html

[22] Hipp, D. R.: Datatypes In SQLite Version 3. [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: https://www.sqlite.org/datatype3.html

[23] Anicas, M.: Why You May Not Want To Run Your Own Mail Server. 2014, [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: https://www.digitalocean.com/community/tutorials/why-you-may-not-want-to-run-your-own-mail-server

[24] Ronacher, A.: Flask. 2018, [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: https://docs.python.org/3/tutorial/index.html

[25] Django Software Foundation : Why Django? 2018, [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: https://www.djangoproject.com/start/overview/

[26] Benchoff, B.: Introducing the Raspberry Pi 3. 2016, [cit. 2018-01-25]. Dostupné z: https://hackaday.com/2016/02/28/introducing-the-raspberry-pi-3/

[27] Adafruit: Adding a Real Time Clock to Raspberry Pi. 2016, [cit. 2018-01-25]. Dostupné z: https://learn.adafruit.com/adding-a-real-time-clock-to-raspberry-pi/overview

[28] Raspberry Pi Foundation : Raspbian FAQ. [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: https://www.raspbian.org/RaspbianFAQ

[29] Digilent: ZYBO FPGA Board Reference Manual. 2016, [cit. 2018-01-29]. Dostupné z: https://reference.digilentinc.com/_media/zybo:zybo_rm.pdf

[30] Teich, J.: Hardware/Software Codesign: The Past, the Present, and Predicting the Future. *Proceedings of the IEEE*, ročník 100, 5 2012: s. 1411 – 1430. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/document/6172642/

[31] Xilibus: Getting Started with Xilinux for Zynq-7000. [cit. 2018-01-29]. Dostupné z: http://xillybus.com/downloads/doc/xillybus_getting_started_zynq.pdf

[32] Digilent: Pmod RTCC Reference Manual. 2016, [cit. 2018-01-30]. Dostupné z: https://reference.digilentinc.com/_media/reference/pmod/pmodrtcc/pmodrtcc_rm.pdf

[33] DigitalOcean: DigitalOcean – Pricing. 2018, [cit. 2018-02-05]. Dostupné z: https://www.digitalocean.com/pricing/

[34] DigitalOcean: DigitalOcean – Droplets. 2018, [cit. 2018-02-05]. Dostupné z: https://www.digitalocean.com/products/droplets/

[35] Leach, P.; aj.: A Universally Unique IDentifier (UUID) URN Namespace. RFC 4122, RFC Editor, July 2005. Dostupné z: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4122.txt

[36] Google : Google API – Sending Email. 2017, [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: https://developers.google.com/gmail/api/guides/sending

Příloha A

Nasazení

tady bude neco vo nasazovani na RPI (tj rozjet apache, vygenerovat certifikaty atd., viz `https://github.com/ggljzr/mi-dip-impl/tree/master/deployment`)

tu databazi je potreba nastavit prava/dat nekam aby do ni ten apache moh zapisovat.

Příloha B

Uživatelská příručka

Příloha C

Seznam použitých zkratek

API

AXI

CPU

DDR

EEPROM

FPGA

HDMI

HTML

HTTP Graphical user interface

HTTPS Graphical user interface

I2C

IP Ip jadro

JSON

LCD

LPDDR

LTS

MQTT Graphical user interface

MVC

NTP Network time protocol

OSI

PSK

QoS

RAM

RTC

SD

SSD

SoC

TCP/IP Graphical user interface

URL

USB

UUID

Příloha D

Obsah přiloženého CD

- `readme.txt` ..... stručný popis obsahu CD
- `exe` ..... adresář se spustitelnou formou implementace
- `src`
  - `impl` ..... zdrojové kódy implementace
  - `thesis` ..... zdrojová forma práce ve formátu LaTeX
- `text` ..... text práce
  - `thesis.pdf` ..... text práce ve formátu PDF
  - `thesis.ps` ..... text práce ve formátu PS