

Detekce přítomnosti osob v místnosti

David Průdek*

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout a implementovat senzor detekce přítomnosti osob v místnosti vhodný pro použití v domácí automatizaci. Zaměřil jsem se na nalezení takového řešení, které pro svou činnost využívá běžné nositelné elektroniky. Senzor umístěný v místnosti detekuje tato nositelná zařízení a na základě síly signálu určí jeho pozici. Pro tento případ užití jsem použil technologii Bluetooth LE, která bývá součástí většiny nositelné elektroniky a v poslední době se často využívá k navigaci ve vnitřních prostorech. Použití tohoto senzoru pro automatizaci je zajištěno pomocí systému Home-Assistant. Hlavním přínosem této práce je levně a jednoduše rozšířit možnosti běžné domácí automatizace detekci osob v jednotlivých místnostech, nikoli pouze v široké oblasti, kterou nabízejí lokace pomocí GPS nebo připojení k Wi-Fi přístupového bodu.

Klíčová slova: Detekce osob — IoT — Bluetooth — PIR — Home-Assistant — Domácí automatizace — ESP32 — Vestavěný systém

Přiložené materiály: N/A

*xprude02@stud.fit.vutbr.cz, *Fakulta informačních technologií, Vysoké učení technické v Brně*

1. Úvod

Označení IoT poprvé použil v roce 1999 britský technologický průkopník *Kevin Ashton* v souvislosti s řízením dodavatelského řetězce [1]. Pod tímto pojmem si lze například představit pokročilé průmyslové stroje, které umožňují různé způsoby vzdáleného řízení, automatizace a plánování a jsou základem pro tzv. Průmysl 4.0 a chytré továrny. Oblastí, do kterých IoT promlouvá je mnoho a chytré domy jsou pouze jedny z nich. V této kategorii chceme docílit stavu, kdy jednotlivá zařízení mezi sebou komunikují a dokáží navzájem reagovat na vzniklé události. Událost může být reprezentována například změnou teploty, denní doby, světelných podmínek, ale také přítomnosti člověka.

Poslední zmíněná událost je hlavním předmětem této práce. Chceme, aby systém zaštiťující IoT v domácnosti dokázal na základě polohy člověka tato zařízení řídit. Cílem této práce je nalézt dostatečně levné a dostupné řešení problému zjištění přítomnosti osob v místnosti a tuto informaci použít k řízení IoT zařízení v chytré domácnosti.

2. Techniky detekce přítomnosti osob

Jelikož se snažíme nabídnout takové řešení, které je zaměřené pro domácí použití, bylo potřeba vybrat vhodnou metodu detekce osob. Hledání a identifikování jednotlivých těl lidí, například pomocí zpracování obrazu, by bylo pro účely této identifikace naprosto přehnané. Rozhodl jsem se tedy pro způsob detekce, která využívá ke své činnosti podpůrné zařízení, nejlépe s oblasti běžné nositelné elektroniky. Takové zařízení by bylo jednodušeji detekovatelné a dostupné běžným lidem.

Z toho důvodu jsem způsob detekce vybíral z technologií dostupných v dnešních mobilních telefonech a jiné oblíbené nositelné elektroniky. Mezi primární možnosti jsem zařadil Bluetooth, Wi-Fi a globální navigační systémy, zejména GPS.

2.1 Bluetooth

Bluetooth je standard bezdrátové komunikace, vhodný pro přenášení dat mezi dvěma a více zařízeními malé vzdálenosti. Zařízení Bluetooth komunikují v neličencovaném 2.4 GHz pásmu ISM (Industrial, Scientific and Medical). Jelikož toto frekvenční pásmo je hojně využívané i jinými standardy, např. Wi-Fi, hrozí

rušení signálu. Pro zmírnění následků tohoto rušení systém využívá metodu FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), jejíž princip spočívá v časté změně kanálu signálu a používání celého frekvenčního pásma. Maximální povolený výstupní výkon pro přenášení signálu je omezen a klasifikován do třech skupin a je stanoven na 100 mW [2].

Od verze 4.0 je součástí Bluetooth specifikace rovněž BLE (Bluetooth Low Energy), označován také jako Bluetooth Smart. Před převzetím vývoje skupinou SIG (The Bluetooth Special Interest Group), bylo BLE vyvíjeno firmou Nokia pod názvem Wibree. Od základu byl tento standard navrhován s minimálními energetickými nároky. Definuje vlastní způsob vyhledávání zařízení, navazování spojení a další mechanismy. BLE pracuje stejně jako základní verze v ISM nelicencovaném pásmu s metodou FHSS [3].

Z hlediska našeho použití je vhodnější využít specifikaci BLE, která byla navržena zejména pro periodické přenášení malých objemů dat s nízkou spotřebou energie. Na základě tohoto standardu je postavené zařízení zvané *Bluetooth beacon*. Beacon je fyzické zařízení, jehož funkcí je periodicky distribuovat malý obsah dat všem zařízením v jeho dosahu. Toto zařízení se používá zejména pro navigaci ve vnitřních prostorech, například v rámci projektu společnosti Google nazvaný Nearby.

V běžném použití je beacon umístěn u libovolné destinace a pomocí telefonu je člověk na toto místo nasměrován. V případě detekce přítomnosti člověka v místnosti je možné BLE Beacon použít trochu odlišným způsobem. Tento Beacon nosí člověk stále u sebe a pokud osoba přijde do místnosti se zabudovaným senzorem přítomnosti člověka, senzor přepoše tuto informaci centrální stanici. Funkci beaconu lze simulovat například pomocí aplikace v chytrém telefonu, který obsahuje Bluetooth od verze 4. Podobný účel také zastanou některé chytré hodinky a náramky.

2.2 Wi-Fi a GPS

Pro účely lokalizování polohy zařízení slouží i jiné technologie dostupné v běžných zařízeních. Například Wi-Fi je možné jednoduše využít pro detekci, zda se člověk doma skutečně nachází, avšak pro identifikaci osob v jednotlivých místnostech není dostačující. Podobně je na tom také systém GPS. Absolutní přesnost GPS se udává někde mezi 5 - 10 m [4]. Kromě nedostatečné přesnosti spočívá problém systému GPS zejména v nefunkčnosti v budovách, jelikož běžná zařízení nedokážou spolehlivě přijímat signály z družic.

3. Dostupná existující řešení

Při budování chytré domácnosti v dnešní době není problém najít komponentu, která by splňovala uživatelské požadavky. Na trhu lze nalézt různé typy zařízení, od chytrých žárovek a rolet až po ledničky a pračky od mnoha různých výrobců. Každý z nich si však buduje vlastní ekosystém těchto zařízení a využívá vlastní rozhraní pro jejich ovládání. Proto existují univerzální platformy pro domácí automatizaci, které částečně spojují mnoho různých proprietárních rozhraní. Tyto platformy nabízí své uživatelské rozhraní a umožňují spojovat a vytvářet různé skriptované akce. Jednou z nich je například systém Home-Assistant, který nabízí širokou podporu celé škály zařízení od nejrozšířenějších značek a v tomto projektu je systém rozšiřován o podporu našeho senzoru.

Home-Assistant (HA) je open source systém automatizace chytrých domů, jehož prioritami je soukromí a lokální řízení [5].

V rámci kategorie zařízení pro detekci přítomnosti nabízí Home-Assistant mnoho komponent s touto funkcí, avšak většina z nich udává zejména informaci, zda se člověk nachází doma, či ne. Je zde podpora pro různé výrobce routeru a jiných síťových prvků pro detekování, například zda se určité zařízení připojilo k místní síti. Dále je možné využít k detekci přítomnosti některých automobilů a GPS lokaci chytrého telefonu pomocí služby OwnTracks [6].

Funkcionalitu zjišťování přítomnosti v místnostech je možné docílit například pomocí zařízení Google Home na základě blízkých Bluetooth zařízení. Podobně lze použít Bluetooth adaptér připojený k stanici Home-Assistant [6].

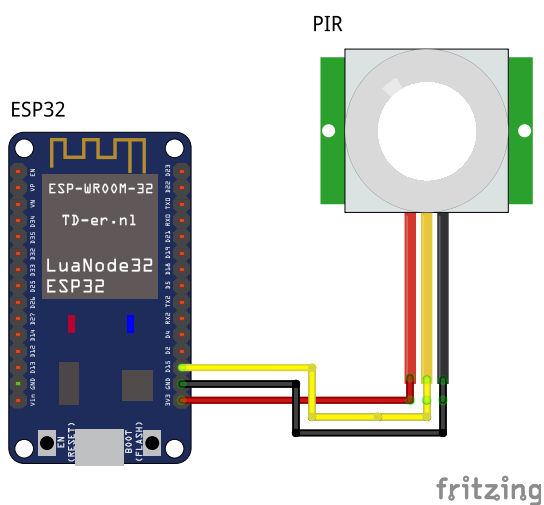
4. Bluetooth LE senzor

První částí systému je senzor, který je zamýšlen pro použití ve smyslu 1 senzor = 1 místnost. Na základě analýzy možných technik detekce osob jsem se rozhodl pro aplikaci metody hledání Bluetooth LE zařízení v kombinaci s pohybovým senzorem PIR (Passive infrared sensor), který zajistí rychlejší reakci na případnou změnu. Informace o pohybu ze senzoru PIR umožní například také energeticky zefektivnit činnost celého čidla, protože nové skenování prostoru může být podmíněno pohybem a nemusí být nastavena častá automatická perioda hledání. Obecné zapojení PIR čidlo k mikrokontroléru je ukázáno na obrázku 1.

Jelikož senzor chceme používat v mnoha místnostech v domě a nejlépe v celém bytě, klademe na něj jisté požadavky. Přestože senzor neobsahuje složitou logiku, potřebujeme zajistit primárně komunikaci s HA stanicí. Z toho důvodu je potřeba použít SoC mikrokon-

trolér. Aby instalace senzorů v domě byla dostatečně pohodlná a nebyla příliš destruktivní k našim domovům, chceme aby komunikace probíhala bezdrátově. V oblasti IoT senzorů se pro tyto účely využívají různé standardy rádiové komunikace, mezi kterými je například Wi-Fi, Z-Wave a nebo Zigbee [7]. Avšak na základě předpokladu, že v chytré domácnosti můžeme počítat s plným pokrytím signálu Wi-Fi a při návrhu našeho senzoru se snažíme docílit jednoduchosti a nízké ceny, je nejvhodnější připojení senzorů do klasické lokální počítačové sítě.

Jako základ senzoru byl vybrán mikrokontrolér ESP32. ESP32 je mikrokontrolér pro veřejnost vydaný v roce 2016 a na rozdíl od svého předchůdce, který byl vytvořen primárně jako Wi-Fi čip, je díky nízké ceně kolem \$5 a integrovaným Wi-Fi a Bluetooth 4.2 velmi vhodným základem pro senzor. Další velkou výhodou ESP32 je kromě rozsáhlé konektivity také jeho spotřeba energie. Ta sice závisí zejména na aplikaci a při plném nasazení je při provozním napětí 3.3 V potřebný elektrický proud 260 mA, avšak pomocí ULP (Ultra Low Power) koprocasu v hlubokém spánku potřebuje ESP32 pouze 20 uA [8].



Obrázek 1. Připojení PIR senzoru k mikrokontroléru ESP32. Vstupní napětí na pinu (červená) se může lišit podle vybraného modelu senzoru. Datový vodič (žlutá) je připojen k GPIO pinu mikrokontroléru. Černý vodič spojuje zem.

Na základě výše uvedených požadavků chceme, aby MCU komunikoval s Home-Assistant stanicí prostřednictvím LAN sítě připojené pomocí Wi-Fi. Výběr použité technologie není jedinou volbou v oblasti komunikace. Dále je třeba si stanovit aplikační protokol, jehož prostřednictvím se budou přenášet potřebné informace.

Rozech IoT dal také prostor pro nové komunikační protokoly, například MQTT (Message Queue

Telemetry Transport). MQTT byl původně navržený společností IBM a postupem času přesunut pod open source komunitu a později se stal velmi oblíbený hlavně v oblasti IoT. Jedná se velmi jednoduchý protokol, umožňující dvě základní operace, publikování a odběr. Vhodný je zejména pro zařízení s omezenými zdroji a pro vestavěné systémy [9].

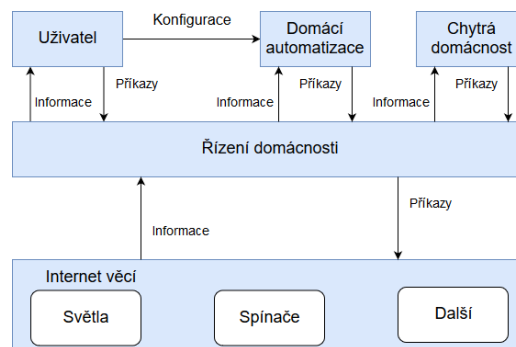
```
{
  "00:00:00:00:00:00" : -56,
  "11:11:11:11:11:11" : -77,
  "22:22:22:22:22:22" : -91
}
```

Výpis 1. Příklad přenášených dat ve formátu JSON.

Senzor po dokončení skenování okolních zařízení zasílá o každém nalezeném prvku jeho 48b adresu a hodnotu síly signálu RSSI, která je vyjádřena v jednotce dBm. Tato data jsou zapouzdřena v JSON rámci, podle příkladu 1. Název klíče v JSON formátu tvoří fyzická adresa Bluetooth adaptéru a hodnotou je číslo RSSI.

5. Modul systému Home-Assistant

Další část systému se nachází na straně automatizační platformy Home-Assistant. Home-Assistant je navržen jako modulární a jednoduše rozšiřitelný. Podporovaná zařízení jsou popsána jako platformy a komponenty. O podporu nových inteligentních zařízení se stará celosvětová komunita. Systém je napsán v jazyce Python 3, tudíž je multiplatformní. Kromě podpory všech nejpoužívanějších operačních systémů, je vytvořen také speciální linuxový operační systém založený na kontejnerech Docker s názvem HassOS, který je základem pro *Hass.io*, systém určený pro jednodeskový počítač Raspberry PI 3. Pro tento počítač je vytvořen také upravený obraz linuxové distribuce Raspbian s předinstalovaným HA s názvem Hassbian [5].



Obrázek 2. Architektura Home-Assistant [5]

Na obrázku 2 můžete vidět základní architekturu a části Home-Assistant systému. Entity, které se systémem pracují, reprezentuje blok Uživatel. Část Internet věcí značí skupinu všech IoT zařízení. Uživatel má

práva konfigurovat chování systému a spouštět příkazy. Systém uživateli zpětně poskytuje informace o stavu všech komponent. Vrstva IoT přijímá a vykonává dílčí příkazy a vrací informace o svém stavu [5].

Platforma pro senzor detekce přítomnosti vytváří pro každý nakonfigurovaný senzor vlastní entitu, která obsahuje dvojhodnotový stav a udává aktuální situaci v místnosti. Dále odeberá MQTT zprávy na základě hodnoty *topic* nastavené v konfiguračním souboru HA. Po přijetí zprávy systém zpracuje její obsah a definuje nový stav senzoru. Způsob, jakým se určuje nový stav, je možné upravit pomocí několika režimů. Ve výchozím módu se potvrdí přítomnost člověka v případě, že senzor nalezne jakékoli zařízení s hodnotou síly signálu RSSI menší než definovaná mezní hodnota. Tato hodnota je ve výchozím stavu stanovená na -90 dBm. Další režim *person-only* upravuje tuto funkce tím, že pravidlo síly signálu aplikuje pouze na známá zařízení definovaná pro konkrétní osoby.

Platforma senzoru přítomnosti bude záviset zejména na definované a správně nakonfigurované komponentě pro MQTT. Pomocí ní systém přijímá data ze senzorů. Pro fungování MQTT protokolu je nutné provozovat také MQTT broker. K tomuto účelu je možné využít otevřenou externí aplikaci *Mosquitto*, avšak tuto funkci dokáže zajistit i samotný Home-Assistant, jelikož obsahuje MQTT broker *HBMQTT*. Pro využívání režimu *person-only* je také nutné mít nakonfigurované osoby pro třídy *person* a jejich zařízení třídy *device_tracker*.

```
binary_sensor:
  - platform: ble_presence
    name: kitchen
    topic: house/presence/kitchen
  - platform: ble_presence
    name: livingroom
    topic: house/presence/livingroom
    mode: person_only
```

Výpis 2. Příklad YAML konfigurace senzoru přítomnosti v místnosti

Home-Assistant je konfigurován pomocí *yaml* souborů a ukázka konfigurace pro tuto platformu je uvedena ve výpisu 2.

6. Výsledné řešení

Na základě návrhu popsaného v sekcích 4 a 5 se podařilo obě části systému implementovat. Jednoduchost hardwarové části senzoru zůstala zachována. Pro vývoj a testování byl použit vývojový kit *Doit ESP32 Dev-kit v1* obsahující mikrokontrolér ESP32 modulu *ESP-WROOM-32* se 4 MB flash paměti. Konkrétně použití minimálně 4 MB varianty je vyžadováno, přestože

výsledný firmware nabývá velikosti pouze 1.7 MB. ESP32 totiž umožňuje také OTA (Over The Air) aktualizace firmwaru, avšak pro tuto funkci je potřeba rozdělit úložiště pro program do dvou identických diskových oddílů pro uložení záložní kopie programu. Z toho důvodu není možné využít vzdálené aktualizace u 2 MB varianty mikrokontroléru.

V reálné použití se hodnota síly signálu změřeného na vývojovém kitu pohybuje od -50 dBm a méně. Hodnota RSSI kolem -50 dBm znamená, že zdrojové zařízení je v těsné blízkosti senzoru. Pokud se nacházíme v běžně velké bytové místnosti několik jednotek metrů od senzoru bez významné překážky, pak tato hodnota se pohybuje okolo -70 dBm. Pokud mezi senzor a zařízení postavíme zeď, síla signálu se dále sníží o cca 10 - 20 dB. Přesnou hranici mezi přítomností a nepřítomností člověka v místnosti není možné přesně definovat. Ta se pohybuje od -90 až do -80 dBm a velmi závisí na bytové struktuře, síle stěn, ale také i na umístění senzoru.

Doplňující komponenta do automatizační platformy Home-Assistant se také podařila na základě návrhu implementovat. Dokáže pracovat s informacemi o známých lidech a jejich zařízeních vhodných k detekci. Reálné použití senzoru je velmi otevřené a závisí pouze na fantazii uživatele. Může například rozsvěcovat světla, měnit teplotu, zapínat různá zařízení a mnoho dalších činností.

7. Závěr

Tato práce se zabývala vytvořením platformy senzoru pro detekci osob v místnosti vhodný pro automatizaci v chytrých domácnostech. Myšlenkou projektu bylo nalézt jednoduché řešení tohoto problému využívající ke své činnosti běžné a finančně dostupné zařízení.

Průzkum různých metod detekce běžných nositelných zařízení ukázal, že při použití v obytných prostorech domu dokáže nabídnou požadovanou přesnost pouze detekce blízkých Bluetooth Low Energy zařízení. Při analýze možných metod detekce osob se zjistilo, že přesnost detekce je možné zvýšit pomocí PIR senzoru, přestože tento senzor dokáže detekovat pouze pohyb a nikoli přítomnost člověka.

Zadání a myšlenku se podařilo splnit. Vytvořené řešení funguje podle předpokladu a je možné ho v praxi využít. Senzor byl testován zejména v místnostech se silnými zdmi, které znatelně izolují Bluetooth signál. V jiných prostředích se senzor může chovat jinak, avšak systém umožňuje nastavovat různé mezní hodnoty pro kterékoli čidlo a do jisté míry přizpůsobit chování danému místu.

Cenu výsledného produktu se podařilo uchovat

nízko. Automatizační platforma je otevřený nástroj, který může běžet na kterémkoli počítači v domácnosti, ale nejvhodnější možností je použití jednodeskového počítače Raspberry PI. Hlavní část senzoru mikrokontrolér ESP32 je možné pořídit za cenu cca \$5 a cena PIR senzoru se pohybuje okolo \$1.

Budoucí rozšíření vidím zejména ve zlepšení uživatelského rozhraní pro jednodušší nastavování a obsluhy senzorů. Dále by bylo vhodné například rozšířit podporu pro jiné domácí automatizační platformy.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své práce panu Ing. Janu Pluskalovi za nápady, odbornou pomoc a konzultace při řešení této práce.

Literatura

- [1] Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645 – 1660, 2013.
- [2] C. Bisdikian. An overview of the bluetooth wireless technology. *IEEE Communications Magazine*, 39(12):86–94, Dec 2001. [Online; navštíveno 16.1.2019].
- [3] Townsend, K. and Davidson, R. and Cufí, C. *Getting Started with Bluetooth Low Energy*. O'Reilly, 2014. [Online; navštíveno 16.1.2019].
- [4] Martin Štroner. Globální navigační satelitní systémy (GNSS). ČVUT – Fakulta stavební, Praha. [Online; navštíveno 16.12.2018].
- [5] Home Assistant. Home Assistant Developer documentation. [Online; navštíveno 11.1.2019].
- [6] Home Assistant. Components Home-Assistant. [Online; navštíveno 11.1.2019].
- [7] C. Gomez and J. Paradells. Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies. *IEEE Communications Magazine*, 48(6):92–101, June 2010.
- [8] Neil Kolban. *Kolban's book on ESP32*. Leanpub, 2018.
- [9] N. Naik. Choice of effective messaging protocols for iot systems: Mqtt, coap, amqp and http. pages 1–7, Oct 2017.