

Inteligentní systém na bázi PLC pro domácí automatizaci

Intelligent Home Automation based on PLC

Ján Sláčik, Petr Mlýnek

jan.slacik@vutbr.cz, mlynek@feec.vutbr.cz

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně

DOI: -

Abstract: The article describes the technology of power line communication, refers to requirements to create intelligent building system. Deal with intelligent systems, techniques and methods deployed in practice for the industry or households. The text aims to bring concrete implementation of prototype system based on PLC technology (Power Line Communication) which is not, compared with the following technologies so widespread.

Inteligentní systém pro domácí automatizaci na bázi PLC

Ján Sláčík, Petr Mlýnek

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně
Email: jan.slacik@vutbr.cz, mlynek@feec.vutbr.cz

Abstrakt – Článek popisuje technologii komunikace po elektrické síti a zmiňuje požadavky k vytvoření inteligentního systému budovy. Uvádí problematiku inteligentních systémů, technologie a způsoby nasazované v praxi pro průmysl, či domácnosti. Cílem textu je přiblížit konkrétní návrh prototypové realizace systému na bázi technologie PLC (Power Line Communication), která není oproti níže uvedeným technologiím tolik rozšířená.

1 Úvod

Technologie PLC (Power Line Communication) je dnes dostupná, nicméně její využití je směřováno zejména v energetice pro chytrý sběr dat. Existují také aplikace v rámci inteligentních systémů, nicméně vždy za přítomnosti jiného, externího rozhraní, na kterém je často samotný PLC kanál závislý. Cílem je tedy vytvoření systému, který má být plnohodnotným ekvivalentem stávajících komerčních řešení z hlediska funkcionality a výkonu.

Samotná technologie PLC je dnes žádaná zejména v oblastech, kde je nutno přenosu informací v místech, kde je jinak nutná například stavba dodatečného komunikačního kanálu nevhodná z hlediska nákladů. K dispozici jsou standardizovaná řešení vhodná zejména pro průmyslové aplikace. V textu jsou představeny základní typy a možnosti PLC technologie, a také několik příkladů jejich využití.

Článek podrobně představí strukturu prototypu inteligentního systému pro domácnosti nebo pracoviště. Návrh je rozebrán z hlediska navrženého hardware, přiblíží vytvořený firmware a software. Celkově je pak ověřena jeho funkčnost a zhodnocení dosavadních výsledků, kde bude na závěr diskutována problematika PLC a z toho vyplývající možný další vývoj.

2 Inteligentní systémy

Pojmy inteligentní budova/dům nebo chytrá domácnost se dnes objevují poměrně často. Jejich význam můžeme chápat jako obytné či pracovní prostory, které jsou schopné přizpůsobit se například vnějším podmínkám, efektivně využívat prostředí a zvyšovat celkový komfort. Inteligentní systém tvoří sub-systémy, které definují celkové vlastnosti. Je možné obecně členit jeho strukturu do těchto částí:

Centrální uzel – hlavní uzel v síti, který zajišťuje režii komunikace a celkový monitoring, vyhodnocení aktuální situace, odesílání a přijímání informací ze sítě. Uzel může řídit externí nadřazený systém se kterým přímo komunikuje.

Koncové prvky – zařízení nebo komponenty, které mají být řízeny nebo mají za účel odesílat data ke zpracování buď centrálnímu uzlu, nebo přímo jinému koncovému prvku.

Komunikační rozhraní – způsob komunikace musí vždy splňovat podmínky pro dané zařízení. Cílem je vytvořit komunikační kanál s co nejvyšší možnou spolehlivostí, bezpečností a dostatečnou přenosovou rychlostí.

Další populární řešení je pomocí bezdrátového přenosu (standard IEEE 802.11, nebo komunikace v některém pásmu kolem 868 MHz). Obě řešení sebou přináší svá úskalí. Někdy je klíčová cena nákladů na instalaci, jindy nemožnost nasadit dané rozhraní. Výhodou je však možné dosažení vysoké spolehlivosti a robustnosti komunikace.

Ovládací rozhraní – možností, jak ovládat inteligentní systémy je mnoho. Od typických dálkových IR (infračervených) ovladačů, přes jednoúčelové ovladače s grafickým rozhraním, po univerzální zařízení jako telefony, tablety, PC atp. Záleží také na účelu takového systému. Cílem je samozřejmě dosáhnout co nejjednodušší formu, která je pro uživatele intuitivní a příjemná. Systémy nebo jejich sub-systémy je možné navrhnout bez nutnosti uživatelských zásahů do systému v provozu, tedy pracují samostatně.

Přístup do systému je často navržen s možností vzdálené správy. V tom případě je nutno zabezpečit maximální důvěrnost a autentičnost komunikace ověřeného uživatele.

Úložiště – datový prostor, který uchovává jak citlivá data o uživatelích, tak informace o jednotlivých stavech zařízení v instalaci, například za účelem shromažďování dlouhodobých statistik pro snížení celkové spotřeby.

Automatizované systémy realizují například akce pro úpravu teploty (kotel, klimatizace), ohřev vody, stínící techniku, úpravu celkové svítivosti v místnosti, sledování pohybu a s tím spojeny funkce alarmu. Možné je i sledování kvality ovzduší nebo integrace sub-systému pro automatické udržování venkovních ploch. Za zmínku také stojí již dnes možné nasazení hlasového asistenta, který má částečně či úplně nahradit veškeré ovládání takového systému a posunout tyto systémy o další úroveň dopředu [1].

Základní požadavek na inteligentní systém je maximální bezpečnost jak z hlediska vnějších útoků, lokálních útoků, tak neoprávněného ovládání. Tedy systém je zabezpečen proti úniku citlivých informací. Systém mohou doplňovat funkce, které mají částečně chránit život uživatele (alarmy – okamžité upozornění, monitoring a správa systému vzdáleně, automatizované činnosti při narušení). Automatizované funkce mají být ovladatelné také ručně. K tomu má sloužit jednotný ovládací systém, který monitoruje všechny aktuální stavy s co možná nejintuitivnější možností řízení.

Účel inteligentních systémů není pouze o uživatelském komfortu, ale také má zajistit snížení nákladů na běžný provoz, celkové snížení spotřeby energií. V těchto systémech je také možnost integrace zabezpečení ve smyslu chytrých zámek a také funkce pro jednoduchou a pohodlnou obsluhu multimédií

(od vysunutí plátna pro projektor přes spuštění obsahu po upravení tónu barev a intenzity osvětlení v místnosti). Tyto i další funkce tedy tvoří síťovou infrastrukturu, která může být z hlediska komunikace postavena na jednotné IP síti, nebo jiných standardních rozhraních jako CAN, Mod-Bus, RS-485 atp. Výrobci kombinují bezdrátovou komunikaci a komunikaci po metalickém vedení. Cílem je buď posílit robustnost komunikace systému, nebo zvýšit bezpečnost. Ne vždy je ale možné instalovat pro komunikaci dodatečné vedení (historické budovy), nebo využít bezdrátových technologií v místech kde není možné zabezpečit dostatečnou intenzitu signálu mezi dvěma uzly, nebo v místech s vysokou pravděpodobností vzniku interferencí.

V tomto případě je vhodné uvažovat o systému, který v konečném důsledku kombinuje oba uvedené způsoby, a to bez využití dodatečné kabeláže a bez rizika malého dosahu bezdrátového signálu. Jedinou podmínkou je instalovaná rozvodní elektrická síť. Tedy způsob komunikace takového systému, je založen na PLC technologii. Článek se zaměřuje na využití tohoto druhu komunikace v inteligentních systémech. Na trhu v poli inteligentních automatizovaných systémů jsou například společnosti KNX, iNels, ABB a další.

3 Komunikace po napájecím vedení

Obecně dělíme PLC komunikaci z hlediska šířky komunikačního pásma na UNB (Ultra Narrow Band), NB (Narrow Band) a BB (BroadBand) [2]. Jedním z kritických parametrů ovlivňující přenosovou rychlost je šířka pásma.

- **UNB** – 0,3–3 kHz, rychlost 100 b/s.
- **NB** – 3–500 kHz CENELEC, FCC, ARIB a čínské pásmo.
 - LDR (Low Data Rate) - jedna nosná – jednotky kb/s,
 - HDR (High Data Rate) - více nosných – desítky kb/s po 500 kb/s.
- **BB** – 1,8–250 MHz, jednotky až stovky Mb/s.

O čem vypovídá toto rozdělení je, že definujeme základní typy komunikace pro požadavky na rychlost a vzdálenost.

3.1 Volba pásma

Pro účely inteligentních systému se jeví NB a BB PLC jako nejvhodnější. Robustní UNB pásmo pro komunikaci v inteligentním systému domácnosti nemusí být vždy dostačující, je spíše vhodnější pro komunikaci na velkou vzdálenost (např. 150 km) [2]. Komunikace v BB pásmu sice poskytuje vysoké datové přenosy, které lze využít například jako náhradu HAN (Home Area Network) nebo LAN (Local Area Network) sítě, nicméně je také náchylnější na rušení a za účelem automatizace není požadavek na vysoký datový přenos. Komunikace v řádu jednotek až desítek kb/s v rámci úzkého pásma (NB), se jeví jako optimální, mimo jiné je také podpořeno mezinárodními komunikačními standardy v jednotlivých pásmech (CENELEC [3], FCC, ...) například nejrozšířenější PRIME (ve verzi 1.4 [4]) nebo G3-

PLC [5], které definují standardizovanou komunikaci s více nosnými na bázi OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) spadající do kategorie HDR.

3.2 Využití

Jak bylo uvedeno, UNB je vhodné pro velké komunikační vzdálenosti, kde není prioritní požadavek na vysokou rychlost přenosu. Využívá se zejména v energetice pro sběr dat. V USA se jedná o systém TWACS (Two-Way Automatic Communication), který slouží k odečítání dat z elektroměrů. V ČR je nasazen obdobný systém, zvaný HDO (hromadné dálkové ovládní), který je využíván k dálkovému řízení dodávky energie. Jelikož je tento systém zastaralý, je vhodné jej nahradit úzkopásmovou PLC technologií, která otvírá nové možnosti, a může se tak odečítání nebo práce s dodávkou energie posunout na další úroveň.

Tedy PLC komunikace v úzkém pásmu se dnes mimo jiné ve světě využívá v energetice za účelem sběru dat z chytrých elektroměrů, k řízení inteligentního veřejného osvětlení nebo topení a klimatizací budov. Podpora HDR standardů ITU-T G.hnem, IEEE P1901.2, PRIME a G3-PLC zajišťuje lepší integritu zařízení různých výrobců.

Širokopásmová BB-PLC (nebo BPLC, BPL) jsou dnes žádaná zejména pro možnost vytvoření HAN nebo LAN sítí. Díky vysokorychlostnímu přenosu jej lze využít pro datově náročné přenosy jako například video nebo internet.

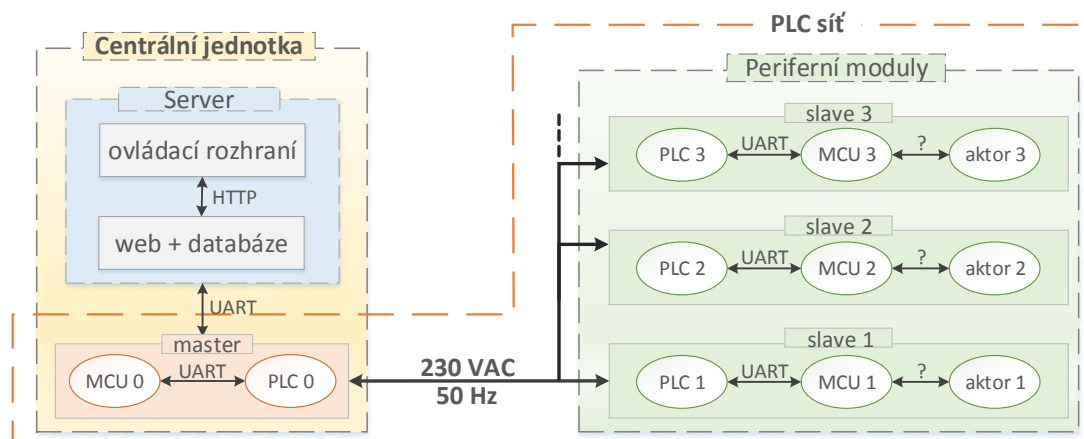
Nasazení PLC komunikace jako základní komunikační kanál inteligentního systému nese myšlenku jednoduchosti provedení instalace. Jak bylo uvedeno, v článku je přiblížen prototyp takového systému, který demonstruje inteligentní řízení základních spotřebičů jako je například regulace světla, regulace teploty kotlem a klimatizací.

3.3 Přínos vlastního řešení

Pro navržení inteligentního systému existuje několik možností, resp. základní komunikační rozhraní, které je primární pro většinu nebo všechny koncové prvky (aktory).

V praxi je často voleno řešení, které vyžaduje dodatečné vedení. Tato možnost často vyžaduje stavební zásah do místa nasazení, a proto je finančně náročnější. Varianta bezdrátového řešení může přinést problémy s pokrytím či rušením. Varianta nasazení PLC komunikace může být omezena rychlostí a v některých případech stabilitou, a to kvůli vzniklému rušení na elektrické síti. Nicméně cílem článku je popsat primární nasazení PLC kanálu v inteligentním systému, a to způsobem který pokrývá nevýhody této technologie a dosahuje kvalit jiných technologií v místech, kde jiné technologie není možné z nějakého důvodu nasadit.

Cílem textu je rovněž demonstrovat funkční realizaci prototypového řešení inteligentního systému založeného právě na komunikaci po elektrickém vedení.



Obrázek 1: Struktura systému.

4 Návrh inteligentního systému

Kapitola popisuje návrh vývojového prototypu inteligentního systému, který umožňuje řízení připojených spotřebičů pomocí webové aplikace, a to buď vzdáleně nebo pomocí rovnocenného centrálního lokálního ovládání.

Základní požadavky na inteligentní systém jsou bezpečnost, stabilita, rychlá odezva na povely a intuitivní rozhraní pro ovládání. Prototyp systému shrnuje blokový diagram, viz Obrázek 1.

Z Obrázek 1 je patrné, že komunikační princip je typu master-slave. V rámci jedné infrastruktury je vždy jedna centrální jednotka, která řídí a monitoruje celou síť. Tu tvoří mini PC s vlastním displejem, který zároveň slouží jako ovládací centrum. Periferní moduly neboli jednotlivé moduly slave, tvoří koncová zařízení pro řízení, nebo sběr dat.

V rámci vytvořeného prototypu bylo pro ukázkou realizováno spínání a rozpinání relé, ovládání displeje a zjišťování aktuální teploty. Byla vytvořena také funkce pro posílání četových zpráv mezi dvěma účastníky.

4.1 Hardwarová struktura a návrh systému

Centrální jednotka plní funkci hlavního uzlu master a slouží jako datový koncentrátor veškerých dat v síti a úložiště potřebných informací. Obsahuje funkce pro kontrolu celé sítě.

V rámci centrální jednotky je umístěn server, který definuje webovou aplikaci pro ovládání a databázi uchovávající informaci o stavech zařízení v síti. Server přímo komunikuje s jednotkou master připojenou do elektrické sítě.

4.1.1 Jednotky master a slave

Jednotka master je hlavní komunikační uzel v rámci celé sítě. Obsahuje dva základní prvky umožňující PLC komunikaci. PLC modem tvoří čip od firmy STMicroelectronics, ST7580. Jedná se o SoC (System on Chip), který umožňuje komunikaci po jedné nosné modulované na síťovou frekvenci 50 Hz. Ta je softwarově nastavitelná do 250 kHz. Čip je kompatibilní s normami CENELEC FCC a ARIB. Neimplementuje žádný ze standardů pro NB-PLC, proto byly vytvořeny proprietární komuni-

kační protokoly. Samotný čip umožňuje tyto modulační schémata: BFSK, BPSK, QPSK, 8PSK. Maximální rychlost na fyzické vrstvě je 28,8 kb/s [6].

Z hlediska bezpečnosti komunikace po elektrické síti umožňuje integrovaný firmware čipu šifrování dat pomocí 128-bitového klíče standardu AES.

Čip umožňuje v režimu dvoustavového fázového klíčování PNA mód (Peak Noise Avoidance), který využívá algoritmu pro eliminaci špiček v šumu. S tím je i přímo spojena funkce detekce průchodu nulou v síti, která je pro tento mód vyžadována. Výsledkem je vyšší spolehlivost komunikace.

Čip plně definuje fyzickou vrstvu a částečně linkovou (datovou) vrstvu. Samotnou komunikaci je potřeba realizovat nadřazeným systémem sériovou komunikací. Ta je řešena v rámci prototypu mikroprocesorem (dále MCU) architektury ARM firmy STM z rady F0 [7]. Spojení hostitele a PLC čipu (lokální komunikace) je zprostředkováno sériovou linkou UART. Protokol zajišťuje v rámci lokální komunikace požadavky na PLC modem z uživatelského rozhraní (zajišťuje veškerou režii nutnou mimo jiné pro uskutečnění komunikace a přenos potřebných dat k jednotce slave).

Slave disponuje stejnou hardwarovou konfigurací, s rozdílem, že je k MCU připojen koncový hardware, na kterém se projeví požadovaný povel (např. rozsvícení). Podle toho, o jaký typ aktoru se jedná, je použito potřebné rozhraní ke komunikaci nebo k řízení procesorem (např. ovládání pomocí sběrnic I2C, SPI, RS-232, USB).

4.1.2 Konstrukce

Při hardwarovém návrhu zařízení byl kladen důraz na několik požadavků. Jelikož se jednalo o první prototypovou realizaci, hlavní myšlenka návrhu byla vytvořit desku nebo desky plošných spojů tak, aby byl následný vývoj efektivní.

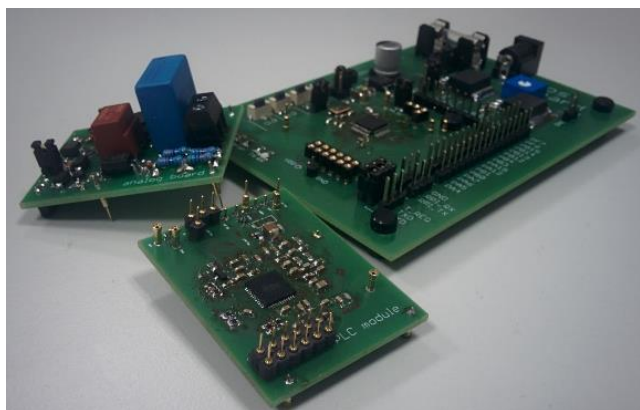
Další požadavek byl kladen na kompaktnost zařízení, za účelem možného osazení v co nejmenším prostoru. Proto byl vytvořen návrh tří desek plošných spojů, které reprezentují samostatné, logicky tvořené části zařízení, které jako celek mají realizovat v rámci jednotného zapojení jednotku slave nebo master. Tedy funkční rozdíl zařízení je definován pouze nahrazením firmware.

První deska (host board) má osazené zapojení MCU s několika pevnými periferiemi pro signalizaci a vstupními přepínači

pro testovací funkce. Jsou zde vyvedeny veškeré piny nadřazeného MCU pro možnost připojení aktorů nebo dodatečných obvodů. Deska také obsahuje primární napájecí část a sekundární testovací napájecí obvody. Potřebné komunikační rozhraní jsou samostatně vyvedeny za účelem připojení externího systému pro komunikaci. Komunikační linky jsou vyvedeny na přídavné kolíky pro případné připojení logického analyzátoru pro externí sledování komunikace. Pro připojení další části (modulu) je vytvořena patice pomocí pinových zásuvek a kolíků.

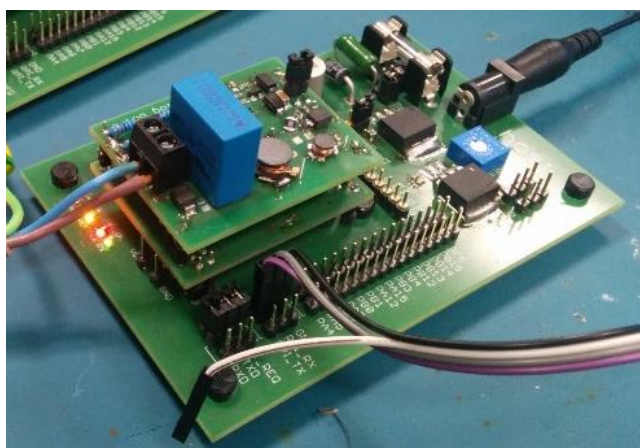
Druhá deska je označena jako „PLC module“, kde je osazen PLC čip ST7580 v požadovaném zapojení. Po obvodu desky jsou rozmístěny pinové zásuvky a kolíky na vrchní i spodní straně desky. Ty tvoří patici pro připojení k základní desce a pro připojení posledního modulu.

Nejvyšší patro tvoří deska plošných spojů označena jako „analog board“, která obsahuje veškeré potřebné analogové obvody jako indukční vazební člen nebo detektor průchodu nulou v síti a konektor pro připojení do elektrické sítě pro komunikaci. Realizované jednotlivé části zařízení jsou zobrazeny na fotografii, viz Obrázek 2.



Obrázek 2: Jednotlivé moduly prototypu.

Po zasunutí modulů do základní desky, připojení do elektrické sítě je pak zařízení nutno dodat potřebné napájení, které je v rámci prototypu primárně zabezpečuje externí adaptér. Obrázek 3 zobrazuje zařízení v provozu, v konfiguraci pro jednotku master, která je připojena k serveru.

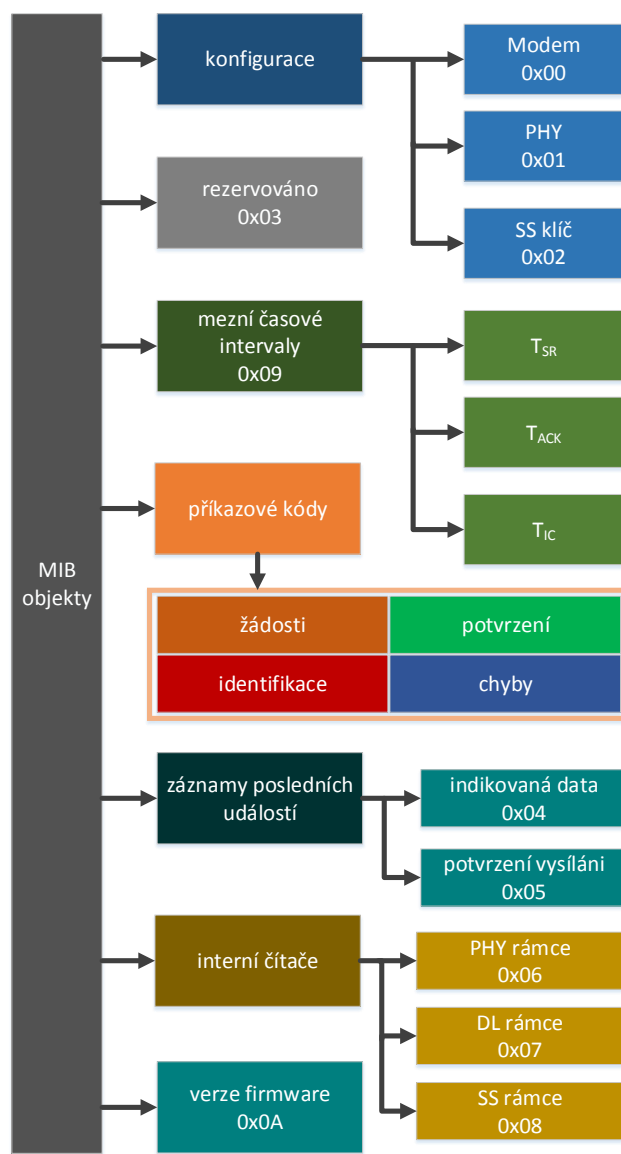


Obrázek 3: Sestavený prototyp v provozu.

Hardwarový návrh byl tedy vytvořen za účelem modulárnosti zařízení pro další vývoj. Nadcházející zamýšlené hardwarové úpravy jsou přiblíženy v kapitole 5.2.

4.2 Firmware

Byl vytvořen obslužný firmware pro PLC čip. Základní (nižší) části firmware definuje komunikace po sériové lince UART pro řízení a plnou obsluhu funkcí PLC čipu ST7580. Princip obsluhy čipu je tvořen strukturou objektů MIB (Management Information Base). Obrázek 4 uvádí adresy jednotlivých objektů, které uchovávají definované informace binárně. MIB objekty uchovávají konfiguraci nastavení a umožňují také kontrolu (monitoring) komunikace.



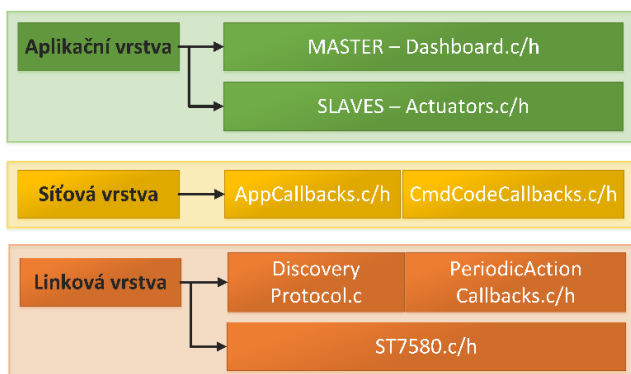
Obrázek 4: Struktura MIB objektů.

Další část firmware zabezpečuje vytvořený aplikační protokol pro řízení systému na uživatelské úrovni. Definuje povely, stavy, požadavky a informace o aktorech.

Vyvíjené komunikační vrstvy obecně vyjadřuje diagram na Obrázek 5. Samotný čip plně definuje fyzickou vrstvu a linkovou vrstvu do úrovně stavby paketů a základního zabezpečení lokální komunikace s nadřazeným systémem.

V rámci doplnění linkové vrstvy a síťové byly doplněny funkce pro plnou komunikaci s PLC čipem, implementovány veškeré možnosti pro konfiguraci, a řízení komunikace. Následně byl vytvořen protokol, který zajišťuje objevování či hromadné dotazování se koncových prvků v rámci celé sítě, a to za účelem zjištění stavu, či získání informací z určité skupiny zařízení. Poslední vytvořený protokol v rámci testovací verze, je určen pro samotné řízení koncových prvků. Realizuje adresaci a přizpůsobuje komunikaci pro požadovaný povel. Aktuální verzi firmware umožňuje adresovat v rámci jedné sítě 125 koncových zařízení.

Aplikační vrstva implementuje nejvyšší komunikaci mezi serverem a jednotkou master. Zde probíhá prvotní zpracování zadaného povelu uživatelem z ovládacího rozhraní, a také částečné vyhodnocení přijatých dat od některého z koncových zařízení. Následně jsou data předána serveru, kde se v databázi vykonají patřičné změny.



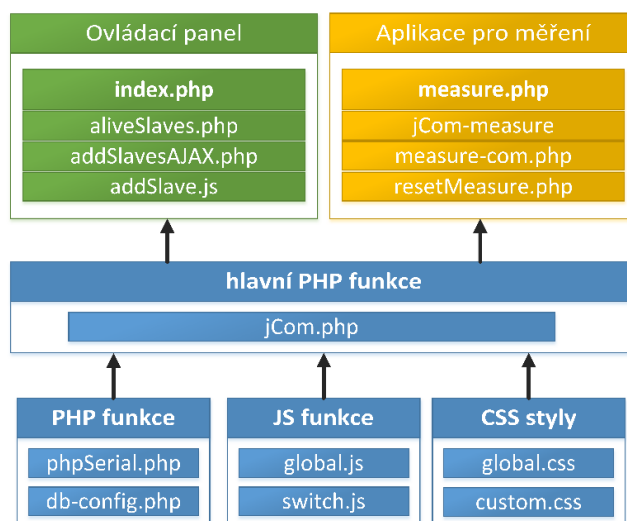
Obrázek 5: Komunikační vrstvy.

Každé zařízení, které je připojeno do sítě, musí být nakonfigurováno. Jedná se o konfiguraci konkrétních parametrů daného aktoru. To znamená, že při prvotním připojení do sítě, systém detekuje nové zařízení, kterému je nutné přiřadit adresu v rámci sítě a vygenerovat ovládací prvky podle účelu zařízení, a zpřístupnění jejich funkcí v rámci ovládacího rozhraní. Například pokud má daný aktor ovládat zásuvku, po připojení se ohlásí univerzální adresou a označením jeho funkcí z výchozího nastavení, tedy, že přijímá stavy zapnuto/vypnuto. Takto ohlášený slave obdrží adresu od centrální jednotky, kterou si pamatuje do hard resetu nebo do přepsání. Dále je pak zařazen do databáze mezi aktivní zařízení a vygenerují se ovládací prvky pro tento typ aktoru v ovládacím rozhraní, čímž se uživatelsky zpřístupní.

4.3 Software

Software pro obsluhu systému implementuje webový server s databází běžící na mini PC. Vytvořený software je tedy webová aplikace (viz Obrázek 7), která ve vývojové verzi definuje testovací aplikaci pro měření chybovosti komunikace a odezvu od vyslání požadavku, po potvrzení vykonaného povelu. Samozřejmostí jsou grafické prvky pro ovládání jednotlivých prvků

v síti. Pro vývoj bylo použito několik platform, webových nástrojů a knihoven. Strukturu webové aplikace popisuje diagram, viz Obrázek 6.



Obrázek 6: Struktura webové aplikace.

Celé ovládací prostředí je dynamické, tedy jakákoliv změna je zobrazena okamžitě v každém zařízení podporující javascript. Celkový layout je responzivní, tedy zobrazovaný obsah se nativně přizpůsobí zařízením s různým rozlišením.

Adresa	Typ	Hodnota	Jméno	Popis
0x10	rw	1	Slave One	Toto je Slave 1
0x20	rw	0	Slave Two	Toto je Slave 2
0x30	rw	1	Slave Three	Toto je Slave 3

Název:	Ovladač	Indikátor	Popis
Slave One	<input checked="" type="checkbox"/> Zapnuto	●	Toto je Slave 1
Slave Two	<input type="checkbox"/> Vypnuto	●	Toto je Slave 2
Slave Three	<input checked="" type="checkbox"/> Zapnuto	●	Toto je Slave 3

Obrázek 7: Příklad zobrazení ovládacího rozhraní.

5 Testovací aplikace

Jak bylo uvedeno výše, webová aplikace a firmware definují také implementaci aplikace pro měření paketové chybovosti a měření odezvy systému na vykonaný povel. V rámci níže uvedené konfigurace a prostředí byla provedena série měření, vždy mezi dvěma aktivními uzly.

5.1 Měření chybovosti a odezvy

Aplikace pro měření pracuje podobně jako program Ping definovaný u protokolu TCP/IP. Ve vzdálenosti 100 m mezi uzly, master odesílá pakety adresovanému uzlu po 1 ms.

Nosná frekvence na elektrické síti byla pevně nastavena na 145 kHz a typ klíčování byl nastaven na 8PSK. V případě korektního příjmu dat pak jednotka slave masteru odesílá číslo posledního přijatého paketu. Pokud v průběhu měření server neobdrží číslo paketu, který byl odeslán, je pak takový paket označen jako chybný.

V rámci jednoho měření bylo vysíláno 1000 paketů. Pro středí, ve kterém se komunikovalo, bylo tvořeno prodlužovacím vedením bez odboček. V síti nebyly připojeny žádné zařízení generující rušení a vedení nebylo v průběhu měření nijak ovlivňováno vnějšími vlivy. Bylo vždy dosaženo nulových paketových ztrát. To bylo způsobeno zejména úzkopásmovou technologií, jejíž náchylnost na rušení je velmi nízká, zejména při typu klíčování BPSK. Změřená odezva na povel se pohybovala od 21 do 23 ms.

Obrázek 8 zobrazuje příklad měřicí aplikace webového rozhraní. Textboxy v horní části slouží k nastavení podmínek mě-

ření. Pole adresa obsahuje přidělenou fyzickou adresu registrovaného slave zařízení v databázi. Druhé pole definuje počet paketů, které budou v průběhu jednoho měření odeslány celkem. Pole rozestup definuje čekací dobu mezi vysílanými pakety. Přepínačem se měření spouští, případně předčasně ukončuje. Zahájení a ukončení měření je oznamováno upozorněním v pravé horní části aplikace, a to v reálném čase. Tabulka se postupně v průběhu měření vyplňuje změřenými informacemi. Status „OK“ značí korektní testovací paket, status „WRONG“ označuje jakýkoliv jiný nevyhovující případ. Oranžové tlačítko slouží k okamžitému vyčištění dat posledního měření z databáze.

Měření tedy byla ověřena celková funkčnost realizovaných funkcí. Realizované funkce v rámci testovacího prototypu byly spínání a rozpínání relé na výstupu, skenování stavů z připojených a nakonfigurovaných aktorů, a možnost odesílání textových zpráv mezi dvěma uživateli.

5.2 Shrnutí a další vývoj

Vytvořené prototypy, viz Obrázek 2 a Obrázek 3, demonstrierují funkční zařízení, které jako primární komunikační kanál využívá PLC technologie s přímým využitím v inteligentních systémech od nejjednodušších akcí (např. odpojení zásuvky), po ovládání zařízení, kde je vyžadována vysoká bezpečnost, například zámky. Jelikož požadavek na rychlost tohoto systému je maximálně v jednotkách až desítkách kb/s, systém jedné nosné tuto podmínku plně splňuje. V rámci prvního prototypu nebyly definovány složitější funkce náročnější na datový přenos. Nicméně se dá předpokládat, že zmíněné funkce, budou v síti o

The screenshot shows the 'jCom|dashboard' control panel for a system. A green notification at the top right states 'HOTOVO Měření bylo úspěšně dokončeno.' (Measurement completed successfully). The main section is titled 'Měření paketové chybovosti a odezvy komunikace' (Measurement of packet loss and communication response time). It features a control area with a gear icon, a 'Spustit měření' (Start measurement) button, a 'Vypnuto' (Off) status indicator, and input fields for 'Adresa:' (16), 'Počet paketů' (10), and 'Rozestup [ms]' (1). A 'Smazat měření' (Delete measurement) button is also present. Below this is a table with columns for 'Číslo paketu' (Packet number), 'Adresa' (Address), 'Odezva [ms]' (Response time), and 'Status'. The table contains 10 rows of data, all showing 'OK' status. At the bottom left, it says 'Zobrazeno 1 až 10 ze 10 záznamů' (Showing 1 to 10 of 10 records). The footer includes 'Copyright © 2016 jCom|dashboard. Všechna práva vyhrazena.' and 'jCom|automation'.

Číslo paketu	Adresa	Odezva [ms]	Status
1	16	22	OK
2	16	22	OK
3	16	23	OK
4	16	23	OK
5	16	22	OK
6	16	23	OK
7	16	23	OK
8	16	23	OK
9	16	23	OK
10	16	22	OK

Obrázek 8: Příklad zobrazení výsledků měření.

více zařízeních na základě stávajících výsledků, v rámci systému stabilní.

Aktuální rozměry prototypové základní desky jsou 112 x 76 mm a oba přídavné moduly mají 46.4 x 36.5 mm. V rámci dalších hardwarových úprav je zamýšlena implementace napájecí části, která bude vytvářet potřebná napájení pouze z jediného konektoru, který aktuálně slouží pro komunikaci po elektrickém vedení. Podmínkou má být zredukování rozměrů základní desky na stávající rozměry desek „PLC module“ a „analog board“, tedy 46.4 x 36.5 mm.

Redukcí všech pomocných obvodů a částí užitečných pouze pro vývoj na prototypové základní desce (s implementací nové napájecí části), je možné v rámci konceptu stávajícího návrhu celkově ustálit rozměry všech tří modulů o 4 až 8 mm menší, než jsou rozměry desek „PLC module“ a „analog board“. Nicméně je nutno počítat i s pomocnými obvody pro samotný aktor nebo případně s dodatečnou čtvrtou deskou plošných spojů, určenou právě pro aktor.

Pro zlepšení PLC komunikace v síti, respektive v rámci upgrade firmware, je v přípravě několik funkcí, které mají zabezpečit adaptivní vlastnosti v daném prostředí. Účelem je vytvořit algoritmy, které dokáží samostatně v síti odhadnout nejvhodnější konfiguraci PLC modemů, a to dosažením maximální robustnosti při udržení co nejvyšší rychlosti.

6 Adaptivní metody

Tyto algoritmy neboli metody, mají využívat dynamického nastavení modulace a hodnoty nosné frekvence, které umožňuje PLC čip. Také má tento čip využívat časových prodlev mezi jednotlivými příkazy nebo povely.

Obecně řečeno, tyto metody má spojovat kalibrační aplikace, která pracuje ve dvou režimech. Níže je popsán návrh možností pro zlepšení výstupních parametrů komunikace v rámci navrženého prototypu inteligentního systému.

Kalibrační sub-systém, který běží při testovací komunikaci nebo běžném provozu celého systému, registruje aktuální parametry sítě, eviduje chyby, pokouší se definovat původ chyby, rozhoduje o četnosti výskytu, čímž může upravit výchozí scénáře které se aplikují při výskytu chyb komunikace v běžném provozu. Cílem tohoto sub-systému je omezit výskyt případných chyb v komunikaci, a to tak, že pracuje dynamicky s maximální samostatností.

6.1 Režim A – dlouhodobý

První režim realizuje dlouhodobou kalibraci, jejímž účelem má být sbírání informací a sledování provozu v síti a nastavení priorit akcí, které se po zjištění definované chybovosti vykonají. Systém skenuje síť v řádu hodin (dnů) běžného užívání spotřebičů v daném prostředí. V době běhu kalibrace nejsou uživatelsky aktivní připojená zařízení.

Aplikace má pracovat tím způsobem, že se centrální jednotka postupně dotazuje všech aktivních registrovaných zařízení, přičemž je v průběhu měřena hodnota SNR (odstup signálu od šumu). V první fázi je nastaven maximální výšlací výkon. Ve fázi druhé se hledá nejnižší stabilní/dostačující výšlací výkon pro komunikaci s daným prvkem. Jedná se o první parametr, který se upravuje při spuštění kalibrace režimu B. Důvod

dynamické změny výšlacího výkonu je za účelem úpravy celkové spotřeby.

V případě časté chybovosti při dané konfiguraci, je na základě SNR upravená nosná frekvence, na které se testování opakuje. Například pro daný slave, systém zaznamená několik frekvencí s pravidelným odstupem, kterými se definuje scénář neboli posloupnost nosných, které se při definované chybovosti postupně mění. V případě, že není možné komunikaci i tak uskutečnit, je změněn typ modulace z více stavové na méně stavovou.

6.2 Režim B – krátkodobý

Druhý režim je spouštěn krátkodobě, a to právě při aktivním provozu, který má za úkol pro definovanou konfiguraci zvolit nejúčinnější možnou konfiguraci v případě nedefinovaného scénáře. Scénáře kalibrace pro režim B se definují pro všechny nebo některé zařízení v rámci dlouhodobé kalibrace – režim A.

Důvod vytvoření dvou režimů kalibrace je, že pro dosažení nejkvalitnějšího odhadu konfigurace komunikačního systému, je nutno dlouhodobějších statistik. Krátkodobý režim kalibrace má za úkol zajistit co nevyšší pravděpodobnost úspěšného provedení povelu, stejně jako režim A.

Jelikož se jedná o úpravy v provozu systému, je nutno dodržet minimální reakční čas. Doba adaptace komunikace musí být při běžném používání uživatelem co nejkratší. Po definovaném časovém intervalu, po který se nepodaří povel provést, musí být uživatel až v poslední řadě vyzván k opakování, případně obeznámen o příčině chyby.

6.3 Úprava frekvence

Proces úpravy nosné frekvence má obecně probíhat následně. Systém při kalibrační komunikaci měří SNR při výchozí nosné. V dalších krocích se proměří s definovaným frekvenčním rozestupem. Data jsou odesílána v pevně definovaném počtu paketů k vybraným uzlům. Následně je vytvořena tabulka definující postup úpravy nosné frekvence v případě definované chybovosti.

6.4 Změna modulace

V některých případech je žádoucí v případě minimální chyby zajistit maximální robustnost komunikace, které je možné dosáhnout přímou změnou konfigurace na nejrobustnější možnou. Mimo nastavení nejvyššího výšlacího výkonu je robustnost nejvíce závislá na počtu přenášených stavů. V rámci tohoto procesu se změni typ klíčování buď na DBPSK s funkcí PNA nebo na režim s frekvenčním klíčováním BFSK (Binary Frequency-shift keying).

Jiná skupina zařízení sníží počet odesílaných stavů v rámci jednoho přenosu na nižší dostupnou, například změnou klíčování z 8PSK na QPSK.

6.5 Časové prodlevy mezi povely

Automatická konfigurace parametrů pro komunikaci nemusí být v některých případech účinná. Proto má být v rámci adap-

tivních metod implementována funkce, která jednoduše v definovaných intervalech a definovaném počtu opakování, opakuje žádosti o vykonání povelu. V případě neúspěchu je uživatel opět v nejhorším případě vyzván k dalšímu pokusu opakovat povel, nebo je obeznámen o zjištěném problému systémem hlášením.

7 Závěr

Z uvedeného textu vyplývá, že technologie PLC je použitelná v systémech pro domácí automatizaci. Byl vytvořen prototyp systému založený na bázi čipu ST7580, který implementuje úzkopásmovou komunikaci. Navržená síť je typu master-slave. Vytvořený firmware obsluhuje pomocí externího MCU PLC čip. Hardwarově tvoří jedno navržené zařízení tři základní desky plošných spojů, jak uvádí Obrázek 3. Základní deska, PLC modul a analogové obvody. Celkem byly realizovány dvě zařízení. Návrh je koncipovaný jako vývojová deska, tedy veškeré periferie, které integruje MCU nebo významné body pro měření jsou vyvedeny a patřičně označeny. Základní deska obsahuje také pomocné obvody pro testovací funkce systému napájecí obvody.

Na straně jednotky master, MCU vykonává komunikaci s nadřazeným systémem (server), který je definován jako webová aplikace s databází v mini PC. Na straně jednotek slave, MCU obsluhuje připojené aktory.

Server implementuje webovou aplikaci sloužící jako grafické uživatelské rozhraní pro ovládání systému. Umožňuje i měření paketové chybovosti komunikace a odezvu povelů.

Testováním implementovaných funkcí byla ověřena stabilita a samotná funkčnost v zapojení se třemi slave jednotkami a centrální jednotkou. Proběhla série měření pomocí vytvořené aplikace mezi dvěma uzly (master-slave).

Navržený způsob řešení demonstrují Obrázek 1 a Obrázek 3, znázorňující strukturu a realizované zařízení reprezentující samotné jednotky master a slave s možností externího připojení aktorů. Jak bylo uvedeno, zařízení je v rámci prototypu konstruováno jako vývojové, které obsahuje pomocné obvody, díky kterým má být další vývoj efektivnější.

Požadované cíle kladené od počátku vývoje, byly v rámci realizovaného prototypu splněny. Lze tedy říci, že dosažená úspěšnost výsledků a výsledky získané měřeními a testováními, jsou směrodatná a vedou k vytvoření ekvivalentu inteligentních systémů, které jsou komerčně dostupné.

Poděkování

Článek byl podpořen projektem Grantové agentury České republiky č. GP14-29084P.

Literatura

- [1] SEIFERT, D. GOOGLE HOME REVIEW: HOME IS WHERE THE SMART IS. In: *THE VERGE* [online]. 2016 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://www.theverge.com/2016/11/3/13504658/google-home-review-speaker-assistant-amazon-echo-competitor>
- [2] GALLI, S., A. SCAGLIONE a Z. WANG. For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid. *For the Grid and Through the Grid* [online]. 2011, (2) [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <http://arxiv.org/pdf/1010.1973.pdf>
- [3] GOTZ, M., M. RAPP a K. DOSTERT Power line channel characteristics and their effect on communication system design. In: *IEEE Communications Magazine* [online]. 2004, 42(4), s. 78-86 [cit. 2016-12-09]. DOI: 10.1109/MCOM.2004.1284933. ISSN 0163-6804.
- [4] PRIME 1.4 Specifications. In: [Http://www.prime-alliance.org/](http://www.prime-alliance.org/): *Powerline Related Intelligent Metering Evolution* [online]. 2014 [cit. 2016-12-09].
- [5] G3 Specifications - low layers - Enedis. In: *Enedis: G3-PLC* [online]. b.r. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: http://www.enedis.fr/sites/default/files/documentation/G3_Specifications_%20low_%20layers.pdf
- [6] ST7580: FSK, PSK multi-mode power line networking system-on-chip. *ST* [online]. b.r. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: http://www.st.com/content/st_com/en/products/interfaces-and-transceivers/power-line-transceivers/st7580.html
- [7] Mainstream ARM Cortex-M0 Access line MCU with 64 Kbytes Flash, 48 MHz CPU, motor control and CEC functions. *ST* [online]. b.r. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f051r8.htm>