

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra měření

Diagnostický převodník Automotive Ethernet a WiFi

Jan Fiala

Vedoucí: Ing. Jan Sobotka, Ph.D.

Obor: Otevřená informatika

Studijní program: Internet věcí

Květen 2021

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Janu Sobotkovi, Ph.D. za ochotnou pomoc a trpělivost při vzniku práce.

Prohlášení

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

V Praze, 18. května 2021

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout a realizovat převodník mezi komunikačními protokoly 802.11 (WiFi) a 802.3bw (Automotive Ethernet). V práci jsou popsány oba protokoly a princip překladač mezi sítěmi 802.3 a 802.11. Dále jsou definovány požadované funkce a parametry převodníku a jsou zvoleny vhodné komponenty. Další část práce popisuje návrh a realizaci hardwaru na základě zvoleného SoC ESP-32 a PHY čipu TJA1100. Na základě testování zhotoveného převodníku je navržena druhá verze hardwaru, která řeší nedostatky v původním návrhu. Poslední kapitola popisuje návrh firmwaru převodníku ve vývojové platformě ESP-IDF.

Klíčová slova: 802.11, WiFi, 802.3, Automotive ethernet, RMII, PHY

Vedoucí: Ing. Jan Sobotka, Ph.D.

Abstract

The goal of this thesis is to design and implement a converter between the 802.11 (WiFi) and 802.3bw (Automotive Ethernet) communication protocols. In the first part, both protocols are described and the principle of translating frames between 802.11 and 802.3 networks is discussed. Next, the requirements for the converter design are defined and suitable components are selected. In the next part, the design of the converter using the ESP-32 SoC and the TJA1100 PHY chip is described. After assembling and testing the hardware, a second version of the converter is designed, addressing the flaws found in the first version of the hardware. The last chapter describes the development of firmware using the ESP-IDF development platform.

Keywords: 802.11, WiFi, 802.3, Automotive ethernet, RMII, PHY

Obsah

1 Úvod	1	4.4 Druhá verze	13
		4.4.1 Návrh	13
		4.4.2 Testování	14
2 Protokol 802.3 a Automotive Ethernet	3	5 Firmware	16
2.1 Spojová vrstva	3	5.1 Ethernet	16
2.2 Fyzická vrstva	4	5.2 WiFi	17
2.3 Automotive Ethernet	4	5.3 Indikace stavu převodníku	17
2.4 Rozhraní MII a RMII	5	6 Závěr	19
3 Protokol 802.11	8	A Bibliografie	20
3.1 Porovnání s protokolem 802.3 ...	8	B Zadání práce	21
3.2 Překládání rámců mezi protokoly 802.3 a 802.11	9		
4 Realizace převodníku	11		
4.1 Požadavky	11		
4.2 Výběr komponentů	11		
4.3 První verze	12		
4.3.1 Návrh	12		
4.3.2 Testování	13		

Obrázky

1.1 Bezdrátový diagnostický adaptér OBD-II.	2
2.1 Topologie ethernetové sítě.	4
2.2 Schéma fyzické vrstvy Automotive Ethernet, převzato z [5].	5
3.1 Topologie lokální sítě s jedním přístupovým bodem.	9
4.1 Soc ESP-32	12
4.2 Modul Wroom 32	12
4.3 Render první verze převodníku. .	13
4.4 Render druhé verze převodníku. .	14
4.5 Render převodníku v krabici. .	14
4.6 Schéma testovacího zapojení převodníku.	15
4.7 Zachycená UDP komunikace v programu WireShark.	15
5.1 Schéma přeposílání rámců.	17
5.2 Indikace stavu WiFi a ethernetového rozhraní převodníku. .	18

Tabulky

2.1 Formát ethernetového rámce.	3
2.2 Signály rozhraní RMII.	7
3.1 Datový rámec protokolu 802.11. .	10

Kapitola 1

Úvod

Trendem posledních let je rostoucí množství elektroniky v automobilech. Infotainment, bezpečnostní prvky jako je udržování jízdy v jízdním pruhu, nouzové brždění, nebo parkovací kamery kladou na komunikační sítě v automobilech stále větší nároky. Stávající technologie, tedy zejména sběrnice CAN s přenosovou rychlostí v jednotkách Mb/s, pro tyto účely přestávají stačit. To vedlo k vytvoření technologie Automotive Ethernet, variantě Ethernetu uzpůsobené pro použití v automobilech, která umožňuje komunikaci rychlostí 100Mbit/s. Oproti jiným variantám Ethernetu je Automotive Ethernet odolnější vůči rušení a ke komunikaci využívá jen jeden pár kroucené dvoulinky. To přináší výhody jako je nižší váha a nižší cena kabeláže, což jsou v automobilovém průmyslu důležité faktory.

Motivací k vytvoření bezdrátového převodníku mezi Automotive Ethernetem a WiFi je právě nárůst v používání této technologie a z toho plynoucí poptávka po různých diagnostických nástrojích. Pro již zavedené protokoly v automobilech, tedy zejména sběrnici CAN, je na trhu k dispozici celá řada nástrojů. Běžně dostupné jsou například bezdrátové převodníky (obrázek 1.1), které je možné zapojit do diagnostického konektoru OBD-II pod volantem automobilu a pomocí mobilního telefonu pak vyčíst chybové hlášení z řídicí jednotky. Pro Automotive Ethernet ale momentálně obdobné kompaktní řešení neexistuje.



Obrázek 1.1: Bezdrátový diagnostický adaptér OBD-II.

Kapitola 2

Protokol 802.3 a Automotive Ethernet

2.1 Spojová vrstva

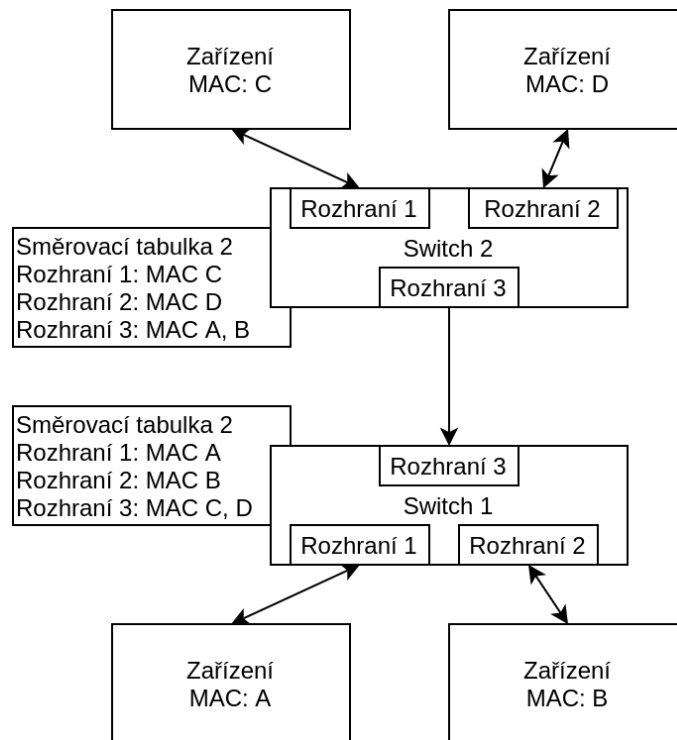
Spojová vrstva v modelu OSI zajišťuje komunikaci mezi dvěma či více uzly, propojenými fyzickou vrstvou. Ethernetová komunikace probíhá formou přeposílání ethernetových rámců. Zařízení v ethernetové síti mají unikátní (nebo alespoň dostatečně náhodné) 48bitové MAC adresy. [1]

Ethernetový rámec, jehož formát je uveden v tabulce 2.1 obsahuje MAC adresu zdrojového a cílového uzlu. Přeposílání rámců v síti je založené právě na těchto adresách. Dále ethernetový rámec obsahuje pole Ether type, které značí, jaký protokol vyšší (síťové) vrstvy je v ethernetovém rámci zapouzdřen - zpravidla to je IPv4 nebo IPv6 paket. Kromě samotných dat rámec obsahuje ještě kontrolní součet, sloužící k detekci chyb při přenosu.

Cílová MAC	Zdrojová MAC	Ether type	Data	CRC součet
6 B	6 B	2 B	45-1500 B	4 B

Tabulka 2.1: Formát ethernetového rámce.

K přeposílání ethernetových rámců slouží přepínač (switch). Přepínač má několik rohnaní, připojených přímo k uzlům (koncovým zařízením), nebo k dalším částem sítě. V případě, že má přepínač jen dvě rozhraní, označuje se jako ethernetový most (bridge). Topologie ethernetové sítě s přepínačem je na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1: Topologie ethernetové sítě.

2.2 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva je nejnižší vrstva modelu OSI. Zajišťuje konverzi jednotlivých bitů na signál, vysílání signálu přenosovým médiem a jeho opětovné dekódování do binární podoby. Narozdíl od spojové vrstvy, fyzická vrstva Ethernetu není jen jedna, ale existuje množství různých variant. Ty se liší různou rychlostí přenosu, přenosovým médiem (kroucená dvoulinka, optické vlákno), nebo kódováním signálu. Jako příklad uvedu hojně rozšířenou variantu 100BASE-TX (označovanou jako Fast Ethernet), definovanou standardem 802.3u. Jako přenosové médium využívá dva páry kroucené dvojlinky (jeden pár pro každý směr komunikace) při rychlosti 100 Mbit/s.

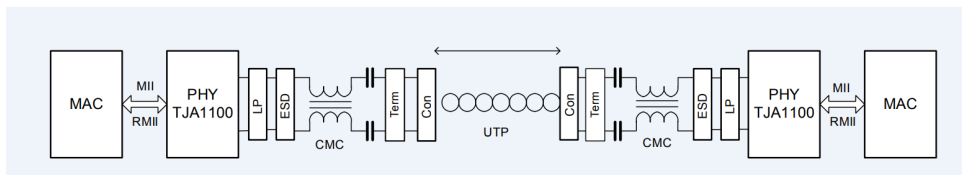
2.3 Automotive Ethernet

Nárůst množství elektroniky v automobilech a z toho plynoucí rostoucí nároky na vozidlové komunikační sítě vedou k tomu, že stávající technologie, tedy zejména sběrnice CAN a její varianta CAN FD s maximální rychlostí 5

Mbit/s, přestávají stačit. S cílem vyřešit tento problém vznikla skupina OPEN Alliance, mezi jejíž členy patří většina významných automobilek a výrobců elektroniky v automobilovém průmyslu. Tato skupina navrhla variantu fyzické vrstvy Ethernetu zvanou BroadR-Reach. V roce 2015 se BroadR-Reach stal součástí standardu 802.3bw [2] a dále se označuje jako 100BASE-T1, nebo jednoduše jako Automotive Ethernet.

Automotive Ethernet umožňuje plně duplexní (bezkolizní) komunikaci rychlostí až 100 Mbit/s za použití pouze jednoho páru kroucené dvojlinky jako přenosového média. Pro porovnání, například 100BASE-TX “Fast Ethernet” dosahuje stejné rychlosti za použití dvou párů kroucené dvojlinky. Automotive Ethernet tedy oproti srovnatelným fyzickým vrstvám přináší úsporu hmotnosti a ceny kabeláže, což jsou v automobilovém průmyslu velmi důležitá měřítka.

Automotive Ethernet využívá tříúrovňové kódování PAM-3. [3] Komplexnější kódování signálu vyžaduje externí filtrační obvod a přísnější požadavky na odolnost vůči elektromagnetickému rušení a elektrickým výbojům vyžadují použití filtrační cívky (choke) a ochranných diod (schéma fyzické vrstvy s filtračními a ochrannými prvky je na obrázku 2.2) Maximální délka vedení 15 metrů, oproti 100 metrům v případě Fast Ethernetu - při použití ve vozidlech je tato délka dostačující. Podrobnější popis fungování fyzické vrstvy je nad rámec této práce, důkladný popis je k dispozici například v závěrečné práci *Využití sítí Ethernet v osobních automobilech* [4].



Obrázek 2.2: Schéma fyzické vrstvy Automotive Ethernet, převzato z [5].

2.4 Rozhraní MII a RMII

Jak již bylo řečeno, Ethernet zahrnuje dvě nejnižší vrstvy modelu OSI, fyzickou a spojovou. Fyzickou vrstvu zpravidla implementuje externí integrovaný obvod, označovaný jako PHY čip. Spojovou vrstvu má v případě Ethernetu na starosti blok MAC (Medium Access Control). MAC blok může být součástí PHY čipu - v tom případě probíhá komunikace s nadřazeným hardwarem pomocí sběrnice jako je PCIe, nebo v případě čipů určených pro použití ve vestavných systémech pomocí sběrnice SPI, která ale limituje maximální přenosovou rychlost. Další možností je, že MAC blok není součástí PHY čipu, ale nadřazeného hardwaru.

Právě k propojení MAC bloku a PHY čipu slouží rozhraní MII (Media Independent Interface) a RMII (Reduced Media Independent Interface), které jsou součástí standardu 802.3u. Obě rozhraní mají rychlost 100 Mbit/s. MII vyžaduje osmnáct signálových vodičů, RMII díky dvojnásobné frekvenci datových signálů oproti MII pouze devět vodičů. Hardware použitý v této práci (výběr hardwaru je součástí třetí kapitoly) podporuje pouze rozhraní RMII, dále tedy budu popisovat právě variantu RMII.

K přenosu dat vysílaných rámců používá rozhraní RMII dvojici signálů TXD0 a TXD1 a k přenosu rámců přijatých PHY čipem signály RXD0 a RXD1. Přenos v obou směrech probíhá dvoubitovými symboly, synchronizovanými s náběžnou hranou hodinového signálu REF_CLK o frekvenci 50MHz (proti tomu rozhraní MII využívá signál o frekvenci 25MHz a čtyři datové vodiče v každém směru). Zdrojem hodinového signálu může být PHY čip, MAC blok, nebo externí oscilátor. Dále RMII obsahuje signály TX_EN, RX_ER a CRS_DV. Signál TX_EN indikuje vysílání dat MAC blokem. Signál RX_ER indikuje chybu při přijímání dat, většinou se ale nevyužívá - PHY čip místo toho změní přijímané bity a MAC blok poté detekuje chybný kontrolní součet rámce. Signál CRS_DV je multiplexovaný - skládá se ze signálu CRS, který indikuje detekci připojení a ze signálu DV, který indikuje vysílání dat z PHY čipu.

Součástí rozhraní RMII je i SMI (Serial Management Interface), neboli MDIO (Management Data Input/Output). MDIO se skládá ze dvou signálů: datového (MDIO) a hodinového (MDC). Je to jednoduché sériové rozhraní sloužící k nastavení a ovládání PHY čipu pomocí zápisu do registrů. Standard 802.3u definuje pět základních registrů. Kromě nich může výrobce PHY čipu definovat další registry s vlastním obsahem - Například z registrů čipu TJA1100 lze vyčíst kvalitu signálu, zkrat na kabelu, nebo jeho odpojení. [6] Přehled signálů RMII je v tabulce níže.

Signál	Směr	Význam signálu
REF_CLK	Do MAC/Do PHY	Referenční hodinový signál o frekvenci 50 MHz, může být výstupem PHY čipu, MAC bloku nebo externího oscilátoru
TXD0	Do MAC	První bit přijímaných dat
TXD1	Do MAC	Druhý bit přijímaných dat
TXD_EN	Do PHY	Indikuje vysílání dat
RXD0	Do MAC	První bit vysílaných dat
RXD1	Do MAC	Druhý bit vysílaných dat
CRS_DV	Do MAC	Multiplexovaný signál CRS (Indikace spoje) a DV (indikace přijímání dat)
RX_ER	Do MAC	Indikace chyby v přijímaných datech
MDIO	Obousměrný	Datový signál sběrnice SMI
MDC	Do MAC	Hodinový signál sběrnice SMI

Tabulka 2.2: Signály rozhraní RMII.

Kapitola 3

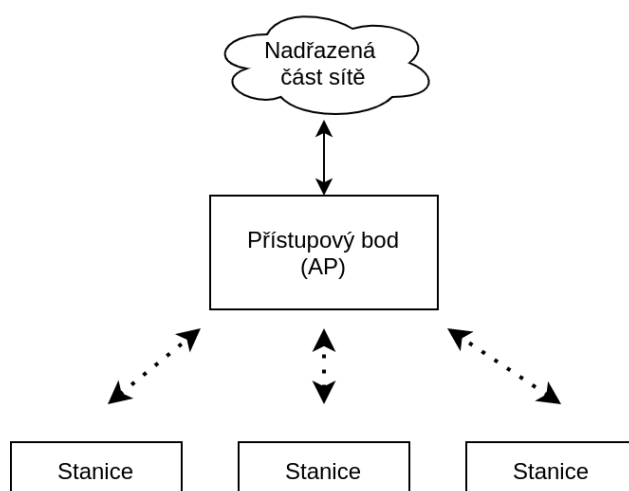
Protokol 802.11

Při tvorbě bezdrátového protokolu 802.11 se kladl důraz na co nejjednodušší možnost integrace do existujících ethernetových sítí. [7] Rámce 802.11, stejně jako ethernetové rámce, používají 48bitové MAC adresy. Díky tomu je překlad rámců mezi bezdrátovou částí (WLAN) a drátovou částí sítě (LAN) relativně jednoduchý.

3.1 Porovnání s protokolem 802.3

WLAN síť se v nejjednodušším případě (opomeňme rozsáhlé sítě s několika přístupovými body) skládá z jednoho přístupového bodu (access point) a jedné, nebo více klientských stanic (station). Přístupový bod má zpravidla ethernetové rozhraní, přes které připojuje bezdrátová zařízení ke zbytku sítě. Topologie jednoduché WLAN sítě je na obrázku 3.1.

Narozdíl od Ethernetu obsahuje protokol 802.11 více druhů rámců: řídicí (management), kontrolní (control) a datové. Řídicí rámce zajišťují připojení zařízení k přístupovému bodu a případně autentizaci připojeného zařízení. Kontrolní rámce mají na starosti řízení přístupu k médiu a spolehlivost komunikace (Acknowledgement rámce). Konečně datové rámce slouží k samotnému přenosu dat. Formát datového rámce protokolu 802.11 je v tabulce 3.1.



Obrázek 3.1: Topologie lokální sítě s jedním přístupovým bodem.

Hlavička datového rámce obsahuje čtyři adresové pole. Adresy jsou dlouhé 48 bitů a jsou přiřazovány ze stejného adresního prostoru jako ethernetové rámce. [7] To umožňuje relativně jednoduchý překlad rámců mezi těmito dvěma protokoly.

3.2 Překládání rámců mezi protokoly 802.3 a 802.11

Z porovnání protokolů 802.11 a 802.3 je zřejmé, že převod rámců mezi nimi je relativně jednoduchý. V případě SoC ESP-32 použitým v této práci dokonce tento problém úplně odpadá. MAC blok WiFi rozhraní ESP-32 totiž přijaté rámce překládá do podoby ethernetových rámců (a naopak vysílané rámce překládá z formátu 802.3 do formátu 802.11). Z pohledu programátora se tedy s WiFi rámci vůbec nesetkáme. Tato funkce je běžná i u bezdrátových síťových karet osobních počítačů. [8]

Pole	Délka (B)	Obsah pole
Frame control	2	Verze protokolu, typ rámce (datový, řídicí, kontrolní)
Duration ID	2	Identifikátor sloužící k řízení přístupu k médiu
Address 1	6	Cílová MAC adresa
Address 2	6	Zdrojová MAC adresa
Address 3	6	MAC adresa přístupového bodu (AP)
Sequence control	2	Data sloužící k sestavení fragmentovaných rámců
Address 4	6	nevim
Frame body	0 - 2312	Datový obsah rámce
Frame check sequence	4	Kontrolní CRC součet

Tabulka 3.1: Datový rámec protokolu 802.11.

Kapitola 4

Realizace převodníku

4.1 Požadavky

Požadavkem při návrhu převodníku byla možnost napájení z USB napájecího konektoru ve vozidle, nebo přímo z palubní sítě. Návrh tedy počítá s rozsahem napájení mezi 5V a 15V. Dalším požadavkem byly co nejmenší rozměry převodníku pro případnou montáž do krabičky. Pro dobře viditelnou indikaci stavu připojení WiFi a Ethernetu jsem do návrhu zahrnul dvě barevné LED diody.

4.2 Výběr komponentů

V případě PHY čipu byl výběr jednoduchý. V době vzniku práce způsobily výpadky výroby celosvětový nedostatek integrovaných obvodů. Jediná možnost tedy byla použít čipy TJA1100, které byly dostupné na katedře měření.

Volba mikrokontroleru byla složitější. Jedna z možností byla zvolit běžný mikrokontroler a k němu připojit externí WiFi modul, jako například ESP8266. Nevýhodou tohoto řešení je to, že připojení WiFi modulů je většinou realizováno přes sběrnici SPI, které omezuje přenosovou rychlost na zhruba 50Mb/s. Druhou možností bylo zvolit mikrokontroler či SoC s integrovaným vysílačem 802.11, jako například ESP-32.

ESP-32 je SoC s dvoujádrovým 32-bitovým procesorem s architekturou Tensilica Xtensa LX6, který obsahuje WiFi vysílač 802.11 b/g/n a mimo jiné i rozhraní RMII pro připojení Ethernetového čipu. Je k němu navíc volně dostupná vývojová platforma ESP-IDF [9], která umožňuje vývoj na bázi real-time operačního systému FreeRTOS. Protože jsem již měl s programováním ESP32 předchozí zkušenosti a jeho parametry jsou pro potřeby převodníku dostačující, rozhodl jsem se použít právě tento čip. Kromě samotného SoC (obrázek 4.1) výrobce nabízí i modul Wroom32, který obsahuje i anténu, oscilátor a další pasivní komponenty (obrázek 4.2). Integrace antény v modulu výrazně usnadní návrh plošného spoje a proto jsem se rozhodl použít právě modul Wroom32.



Obrázek 4.1: Soc ESP-32

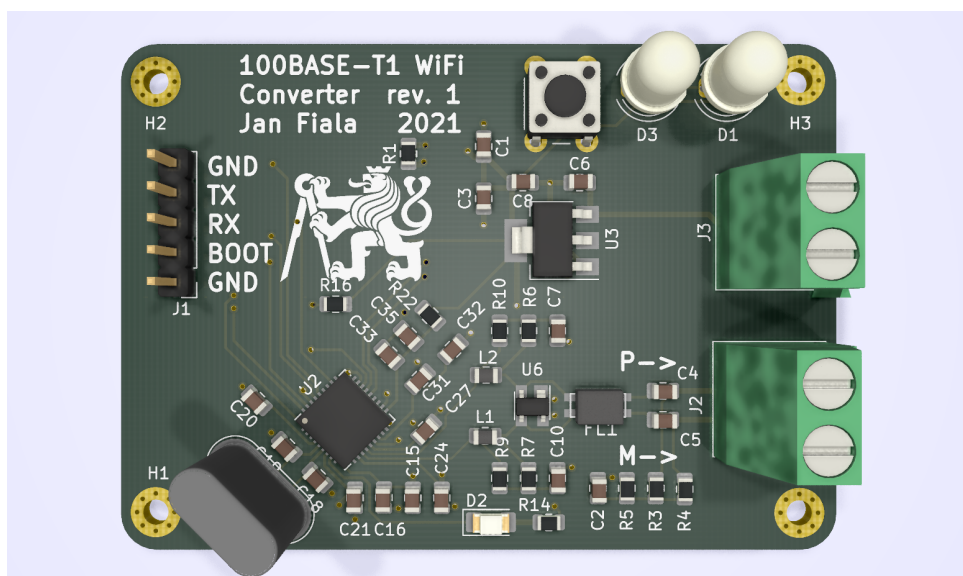


Obrázek 4.2: Modul Wroom 32

4.3 První verze

4.3.1 Návrh

Hlavní komponenty převodníku jsou již zmíněný WiFi modul Wroom32 a PHY čip TJA1100. Požadavkem byla možnost napájení v rozmezí 5V (USB zásuvka) až 15 V (napětí vozidlové elektrické sítě při běžícím motoru). Před samotným návrhem převodníku jsem pro ověření fungování čipu TJA1100 použil hardware z práce *Automotive Ethernet Analyzer* Jana Nejtky [10]. Z jeho návrhu jsem také vycházel při rozvržení filtračního obvodu PHY čipu v převodníku. Pro regulaci vstupního napětí jsem zvolil lineární regulátor AP1117-33, jako napájecí konektor jsem zvolil svorkovnici. Protože pro 100BASE-T1 neexistuje standardní konektor, zvolil jsem svorkovnici i pro ethernetové rozhraní. Dále jsem na desku umístil uživatelské tlačítko a dvě barevné digitálně řízené LED diody typu WS2812. Na desku jsem umístil také kolíkovou lištu s vyvedeným rozhraním UART pro programování čipu ESP-32. Velikost desky je 63 x 44 mm.



Obrázek 4.3: Render první verze převodníku.

4.3.2 Testování

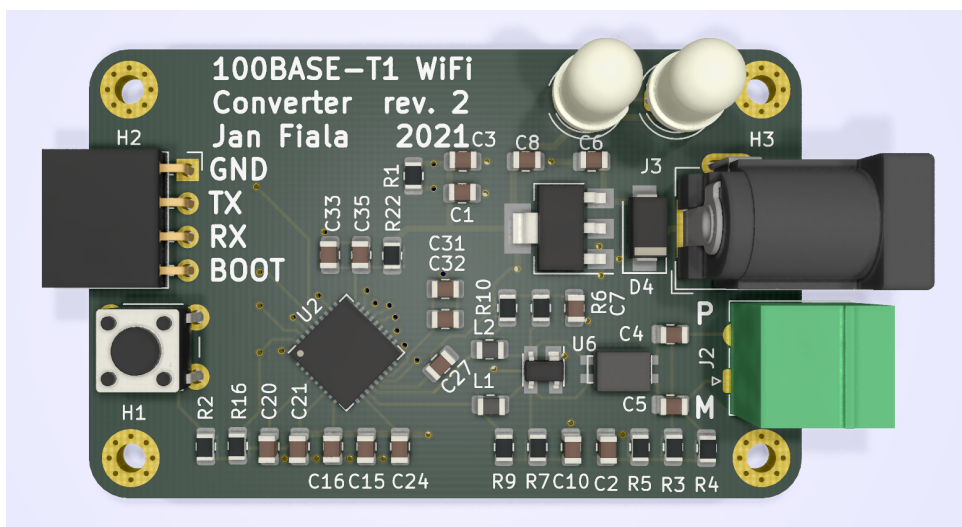
Desku se podařilo úspěšně oživit a její hlavní funkce, převod paketů mezi rozhraním 802.11 a 802.3bw fungují bez problémů. Narazil jsem ale na několik drobných problémů. U tlačítka na desce chybí pull-up rezistor a barevné LED diody mají přehozené pořadí vývodů.

4.4 Druhá verze

4.4.1 Návrh

Hlavní funkcionalita převodníku byla ověřena v první verzi hardwaru, druhá verze má za cíl opravit chybné připojení tlačítka a LED diod. Dále jsem do návrhu přidal schottkyho diodu jako ochranu proti nesprávné polaritě napájení. V průběhu výroby první verze převodníku také vyšla nová verze vývojového prostředí ESP-IDF, která nově umožňuje generovat hodinový signál pro rozhraní RMIÍ přímo uvnitř MAC bloku. Tím odpadla nutnost použití externího oscilátoru, který jsem z návrhu vynechal. Místo svorkovnice jsem ve druhé verzi převodníku pro napájení použil souosý konektor. Velikost desky se snížila na 54 x 34 mm. Kompletní schéma obvodu a návrh plošného spoje jsou v příloze.

Navrhl jsem také jednoduchou krabičku (obrázek 4.5) vhodnou pro tisk na 3D tiskárně.



Obrázek 4.4: Render druhé verze převodníku.

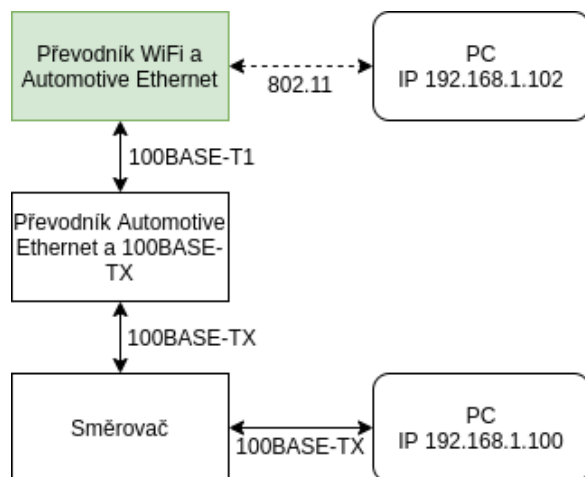


Obrázek 4.5: Render převodníku v krabičce.

■ 4.4.2 Testování

Jelikož jsem v době vzniku práce bohužel neměl přístup k vozu využívajícím Automotive Ethernet, komunikaci bylo nutné nějakým způsobem simulovat.

K tomu jsem využil převodník mezi Automotive Ethernetem a 100BASE-TX (Fast Ethernet) od firmy Intrepid Control Systems. Schéma testovacího zapojení je na obrázku 4.6. Na obrázku 4.7 je zachycená komunikace procházející přes převodník. Nahoře je pět UDP paketů vyslaných z počítače připojenému k bezdrátovému rozhraní převodníku, dole jsou pakety přijaté druhým počítačem.



Obrázek 4.6: Schéma testovacího zapojení převodníku.

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
34.841207983	192.168.1.102	192.168.1.100	UDP	44	2000 → 1000 Len=2
36.665468896	192.168.1.102	192.168.1.100	UDP	44	2000 → 1000 Len=2
38.287315858	192.168.1.102	192.168.1.100	UDP	44	2000 → 1000 Len=2
40.278930734	192.168.1.102	192.168.1.100	UDP	44	2000 → 1000 Len=2
42.486878072	192.168.1.102	192.168.1.100	UDP	44	2000 → 1000 Len=2
30.442850	192.168.1.102	192.168.1.100	UDP	60	2000 → 1000 Len=2
32.265317	192.168.1.102	192.168.1.100	UDP	60	2000 → 1000 Len=2
33.889156	192.168.1.102	192.168.1.100	UDP	60	2000 → 1000 Len=2
35.879429	192.168.1.102	192.168.1.100	UDP	60	2000 → 1000 Len=2
38.087600	192.168.1.102	192.168.1.100	UDP	60	2000 → 1000 Len=2

Obrázek 4.7: Zachycená UDP komunikace v programu Wireshark.

Kapitola 5

Firmware

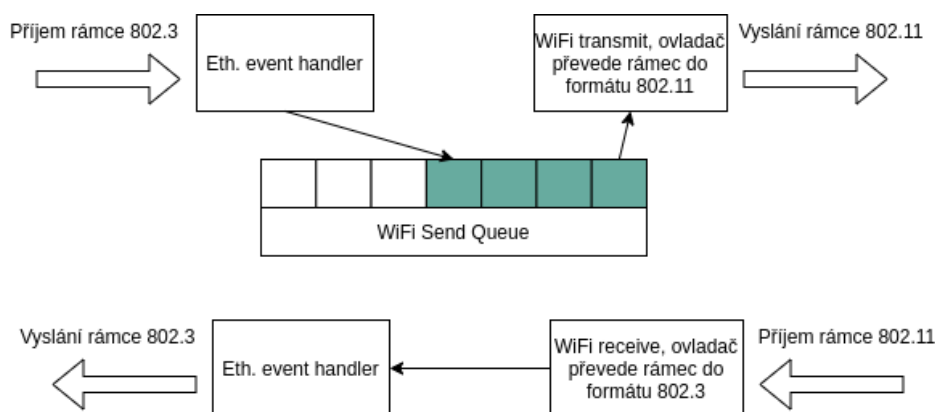
Firmware je naimplementován v jazyce C. Využil jsem operační systém reálného času FreeRTOS, podporovaný platformou ESP-IDF. Jedno ze dvou jader procesoru ESP-32 je vyhrazeno obsluze WiFi rozhraní, druhé řídí PHY čip, ovládá LED diody a běží na něm "aplikační" kód převodníku.

Jak již bylo řečeno, MAC blok v ESP-32 překládá přijímané rámce 802.11 do formátu ethernetových rámců a naopak, vysílané rámce překládá z formátu 802.3 do formátu 802.11. Tím odpadá nutnost jakkoliv manipulovat s přeposílanými rámci.

Jediný problém plyne z rozdílných rychlostí obou protokolů. Nejrychlejší z momentálně běžně rozšířených verzí WiFi 802.11n se rychlosti 100Mb/s přibližuje jen v ideálních podmínkách a SoC ESP-32 použité v této práci dosahuje rychlosti přenosu do 60Mb/s. Řešení je využití vyrovnávací fronty - ve FreeRTOS se nabízí použití datové struktury xQueue. Zjednodušené schéma přeposílání rámců je na obrázku

5.1 Ethernet

Dále bylo nutné vytvořit ovladač pro PHY čip TJA1100. Platforma ESP-IDF obsahuje ovladače pro několik nejrozšířenějších Fast Ethernet PHY čipů, mezi nimi je i čip LAN8720. Právě z ovladače pro tento čip jsem vycházel.



Obrázek 5.1: Schéma přeposílání rámců.

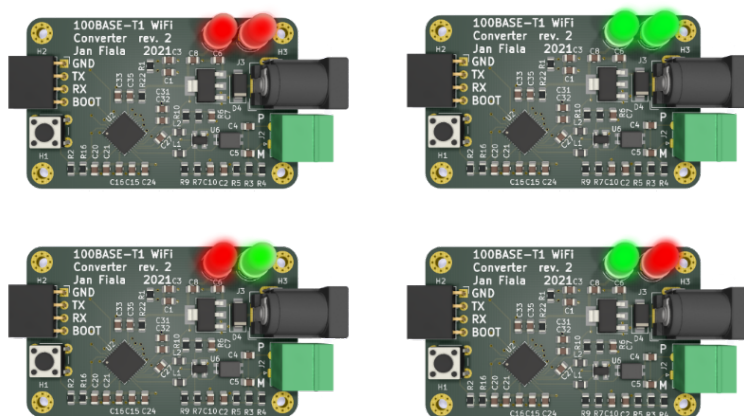
Bylo nutné doplnit některé registry specifické pro čip TJA1100, naopak ale odpadla nutnost implementovat "vyjednávání" (autonegotiation) přenosové rychlosti a duplexního režimu, protože Automotive Ethernet podporuje pouze plně duplexní komunikaci rychlostí 100Mb/s. Automotive Ethernet vyžaduje, aby byl jeden z propojených PHY čipů nakonfigurován jako master a druhý jako slave - při navazování spojení master čip vysílá pulzy, se kterými se slave čip synchronizuje. Protože jsem předpokládal, že převodník se bude do automobilové sítě zapojovat přes přepínač, který má zpravidla rozhraní nakonfigurovaná v režimu master, nastavil jsem PHY čip v převodníku do režimu slave.

5.2 WiFi

Ovládání WiFi je z velké části v režii ovladače, který je součástí platformy ESP-IDF. Pro případ použití více převodníků najednou má název přístupového bodu tvar `converter_XX`, kde `XX` jsou poslední dvě cifry ethernetové MAC adresy převodníku v hexadecimálním formátu.

5.3 Indikace stavu převodníku

K indikaci stavu WiFi a ethernetového rozhraní slouží dvě barevné LED diody (obrázek 5.2). Dioda umístěná blíže k ethernetovému konektoru indikuje status ethernetového spoje, druhá dioda indikuje bezdrátové připojení k převodníku. Jedná se o digitálně řízené diody s řadičem typu WS2812, jejich



Obrázek 5.2: Indikace stavu WiFi a ethernetového rozhraní převodníku.

barva se nastavuje sériovým připojením pomocí specifického protokolu. Pro komunikaci jsem využil periferii ESP-32 RMT, která je určená k emulaci protokolů dálkových ovladačů pro spotřební elektroniku, ale je jí možné použít pro realizaci celé řady pomalých sériových protokolů.



Kapitola 6

Závěr

Cílem této práce byl návrh a realizace diagnostického převodníku mezi protokoly 802.11 a 802.3bw (Automotive Ethernet). Na začátku bylo nutné se seznámit s oběma protokoly a s principem překladu mezi nimi. Poté jsem vyhledal vhodné komponenty a se zvoleným SoC ESP-32 a PHY čipem TJA1100 jsem navrhl hardware převodníku. Po osazení převodníku jsem naimplementoval firmware pro překlad mezi WiFi a ethernetovým rozhraním ve vývojové platformě ESP-IDF. Protože jsem v návrhu po oživení objevil několik nedostatků, vytvořil jsem druhou verzi převodníku, která je zároveň kompaktnější a vhodnější pro případnou zástavbu do krabičky.

Fungování převodníku bylo úspěšně ověřeno, bohužel jsem ale pro účely testování neměl k dispozici vůz s Automotive Ethernetem. Pokud to v budoucnu bude možné, rád bych převodník vyzkoušel ve skutečné automobilové síti. Bylo by také zajímavé rozšířit firmware převodníku o funkci diagnostiky ethernetového spoje, kterou PHY čip na desce umožňuje.

Příloha A

Bibliografie

- [1] *IEEE 802-2001 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture*. 2001. URL: <https://standards.ieee.org/standard/802-2001.html>.
- [2] *IEEE 802.3bw-2015 - IEEE Standard for Ethernet Amendment 1: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 100 Mb/s Operation over a Single Balanced Twisted Pair Cable (100BASE-T1)*. 2015. URL: https://standards.ieee.org/standard/802_3bw-2015.html.
- [3] Donovan Porter. *100BASE-T1 Ethernet: the evolution of automotive networking*. <http://www.ti.com/lit/wp/szzy009/szzy009.pdf>. 2018.
- [4] Dmitrij Bučkovský. *Využití sítě Ethernet v osobních automobilech*. 2016. URL: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/64842>.
- [5] *Application note AN12088: Application hints for TJA1100 Automotive Ethernet PHY*. 2017. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN12088.pdf>.
- [6] *TJA1100 Product data sheet*. 2018. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/TJA1100.pdf>.
- [7] Matthew S. Gast. *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, 2nd Edition*. O'Reilly Media, Inc., 2005. ISBN: 9780596100520.
- [8] WireShark Wiki. *WLAN (IEEE 802.11) capture setup*. URL: <https://wiki.wireshark.org/CaptureSetup/WLAN>.
- [9] *Espressif IoT Development Framework*. URL: <http://github.com/espressif/esp-idf>.
- [10] Jan Nejtek. *Automotive Ethernet Analyzer*. 2019. URL: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/82840>.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Jan Fiala**

Studijní program: **BP44**
Obor:

Název tématu česky: **Diagnostický převodník Automotive Ethernet a WiFi**

Název tématu anglicky: **WiFi diagnostic interface for Automotive Ethernet**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se se standardy 802.11 (WiFi) a 802.3bw (Automotive Ethernet).
2. Pro účely diagnostické komunikace s vozem navrhnete vhodnou architekturu převodníku mezi těmito dvěma standardy.
3. Vyberte vhodné součástky a podle potřeby realizujte příslušný hardware nebo vyberte vhodný vývojový kit.
4. Implementujete základní firmware a software demonstrující funkčnost řešení.
5. Výsledkem práce by měl být převodník umožňující následnou implementaci diagnostického softwaru pro komunikaci s automobilem vybaveným Automotive Ethernetem (není součástí práce).
6. Výsledky práce demonstřujete např. ukázkou komunikace.

Seznam odborné literatury:

- [1] MATHEUS, Kirsten; KÖNIGSEDER, Thomas. Automotive ethernet. Cambridge University Press, 2017.
- [2] ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2010, 123 s. ISBN 978-80-7300-266-4.
- [3] Nicolas Navet, F. and Simonot-Lion, F.: Automotive Embedded Systems Handbook, CRC PressINC, 2009.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Sobotka, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **25. leden 2021**

Platnost zadání do¹: **30. červen 2022**

Z. S.

Prof. Ing. Jan Holub, Ph.D.
vedoucí katedry

Prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
děkan

V Praze dne 25. 1. 2021

Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

