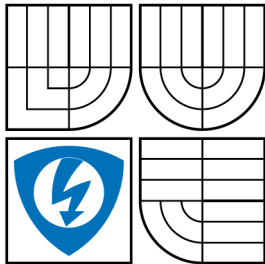


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MĚŘENÍ TEPLoty S PŘENOSEM DAT PŘES SÍŤ WLAN TEMPERATURE MEASUREMENT WITH DATA TRANSFER VIA WLAN

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. DAVID MÜLLER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. IVO LATTENBERG, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. David Müller

ID: 126761

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Měření teploty s přenosem dat přes síť WLAN

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte modul měřiče teploty a modul zobrazovací jednotky, která bude zobrazovat teplotu z vybraného měřiče. Napájení řešte pomocí externích zdrojů. Naprogramujte aplikaci pro PC, která bude umožňovat konfigurovat jednotlivé moduly. U modulu měřiče pak bude pomocí této konfigurační aplikace možno navíc číst a mazat záznamy s maximální a minimální teplotou. U zobrazovacích modulů to pak bude výběr zdroje dat, formát (Celsius, Fahrenheit) apod. Data mezi měřicím modulem a zobrazovačem budou předávána prostřednictvím existující sítě WLAN.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] BRTNÍK, B., MATOUŠEK, D. Mikroprocesorová technika BEN - technická literatura, Praha 2011, 152 stran, ISBN 978-80-7300-406-4.
- [2] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha 2006, 376 stran, ISBN 80-7300-209-4.
- [3] VIRIUS, M., C# 2010 Hotová řešení, Computer Press, 2012, 424 s., ISBN 978-80-251-3730-7

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 28.5.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem jednotek snímače a zobrazovače teploty, které komunikují pomocí bezdrátové sítě WLAN. V teoretické části práce je uveden přehled různých způsobů měření teploty včetně několika konkrétních typů teplotních snímačů, dále je představen standard WLAN a protokoly TCP a UDP. Vlastní návrh řešení je nejprve zaměřen na architekturu systému a návrh komunikačního protokolu, pak následuje realizace obou typů zařízení od výběru součástek, přes návrh zapojení a obrazce plošných spojů až po jeho výrobu a oživení. Další části práce jsou věnovány návrhu programů pro řídicí mikrokontroléry obou jednotek a také programu konfigurační aplikace pro PC.

KLÍČOVÁ SLOVA

Teplotní snímač, Zobrazovač, Celsius, Fahrenheit, WLAN, Bezdrátová síť, WiFi, Mikrokontrolér, AT příkaz, Protokol, TCP, UDP, Klient, Server

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of temperature sensor and display units, which communicate via a WLAN network. The theoretical part provides an overview of various methods of temperature measurement including several specific types of temperature sensors, and also introduces the WLAN standard as well as TCP and UDP protocols. The design solution is focuses first on the system architecture and design of the communication protocol, followed by the implementation of both types of equipment, starting with selection of components, through design diagrams and printed circuit board patterns, up to production and commissioning. The following parts of this thesis deal with the design of programs for the controlling microcontroller units of both units and the configuration application for PC.

KEYWORDS

Temperature sensor, Display, Celsius, Fahrenheit, WLAN, Wireless network, WiFi, Microcontroller, AT command, Protocol, TCP, UDP, Client, Server

MÜLLER, David *Měření teploty s přenosem dat přes síť WLAN*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2014. 69 s. Vedoucí práce doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Měření teploty s přenosem dat přes sít WLAN“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Ivo Lattenbergovi, Ph.D. za cenné postřehy a rady při tvorbě této práce. Za velkou trpělivost a podporu také děkuji mé rodině, která se aktivně účastnila testování systému.

OBSAH

Úvod	8
1 Teoretická část	9
1.1 Měření teploty	9
1.1.1 Snímače podle fyzikálního principu	10
1.1.2 Teplotní snímače jako elektronické součástky	13
1.2 Bezdrátové sítě – WLAN	14
1.2.1 Architektura WLAN	15
1.2.2 Fyzická vrstva	17
1.2.3 Linková vrstva	18
1.3 Protokoly TCP a UDP	21
2 Návrh systému	23
2.1 Architektura	23
2.2 Komunikace	24
2.2.1 Návrh protokolu	25
2.2.2 Přehled příkazů	25
2.2.3 Transportní vrstva	29
3 Hardware	30
3.1 Návrh jednotky snímače	30
3.1.1 WLAN modul	30
3.1.2 Teplotní snímač	31
3.1.3 Mikrokontrolér	32
3.1.4 Ovládací a indikační prvky	33
3.1.5 Napájení	33
3.2 Návrh jednotky zobrazovače	34
3.2.1 WLAN modul	34
3.2.2 Mikrokontrolér	35
3.2.3 Displej	35
3.2.4 Ovládací a indikační prvky	36
3.2.5 Napájení	37
3.3 Schémata zapojení	37
3.4 Desky plošných spojů – DPS	40
3.4.1 Výroba DPS	42

3.4.2	Osazení DPS	43
3.4.3	Testy a základní oživení	43
3.4.4	Úpravy v zapojení	43
4	Firmware	45
4.1	Knihovna pro WLAN modul – <code>wizfi.c</code>	45
4.1.1	Průběh připojení klienta	46
4.1.2	Přenos dat	47
4.2	Knihovna pro displej – <code>led_disp.c</code>	48
4.3	Knihovny pro komunikaci s teplotním senzorem	49
4.4	Hlavní program jednotek	50
4.4.1	Inicializace	50
4.4.2	Hlavní smyčka	51
4.4.3	Zobrazování teploty	51
4.5	Ladění firmware	52
5	Software	54
5.1	Knihovna <code>ModuleDataLib</code>	54
5.2	Knihovna <code>CommLib</code>	54
5.3	Aplikace <code>Setup</code>	54
5.3.1	Třída <code>CtrlPanel</code>	55
5.3.2	Průběh komunikace s jednotkou	56
6	Závěr	60
6.1	Možná rozšíření	60
6.2	Použité vývojové nástroje	61
	Literatura	63
	A Fotografie osazených desek	65
	B Seznam součástek	66
	C Obsah přiloženého DVD	69

ÚVOD

Cílem diplomové práce je realizace síťového systému pro měření a zobrazování teplot. Jednotlivými uzly sítě budou jednotky (moduly¹) snímající teplotu a dále jednotky pro její zobrazování. Pro větší přehlednost je práce rozdělena do kapitol, které přibližně odpovídají etapám vývoje systému.

Po teoretickém úvodu je proveden návrh architektury a komunikace, potom následuje praktická část, ve které je navržen a po té realizován hardware jednotek snímače a zobrazovače. Další části práce jsou zaměřeny na programové vybavení. Nejdříve se bude jednat o program pro mikrokontroléry jednotek – firmware a následně to bude vývoj konfigurační aplikace pro PC. V závěru práce se zamyslíme nad možným rozšířením stávajícího systému.

¹V textu práce se na mnoha místech vyskytuje pojem *modul* a to v různých významech. Nejčastěji ve slovním spojení WLAN modul, kdy máme na mysli komerční hardwarovou komponentu, dále se může jednat také o programový modul, tj. nezávislou část programu plnící specializované funkce, ale modulem se ve smyslu zadání myslí také vlastní hardwarové řešení tohoto projektu. Ve vlastním textu práce se pro lepší přehlednost používá v tomto smyslu raději pojem *jednotka*. Slovo *modul* se v anglické verzi vyskytuje také ve zdrojových kódech (např. `ModuleBase`), kde se jedná o názvy tříd, popř. proměnných, které s hardwarovými jednotkami logicky souvisí.

1 TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části práce si vytvoříme nezbytný vědomostní základ pro návrh řešení podle zadání diplomové práce. Nejdříve uvedeme měření teploty z pohledu fyzikálních principů a potom představíme i několik konkrétních typů teplotních snímačů jako elektronických součástek. Dále se zaměříme na standard pro bezdrátové lokální sítě a na závěr zmíníme nejdůležitější protokoly transportní vrstvy modelu TCP/IP.

1.1 Měření teploty

Teplota je fyzikální stavová veličina. Hodnota teploty se udává v teplotních stupních tj. srovnáním s příslušnou teplotní stupnicí. Mimo USA a některá závislá území, kde se hodnota teploty udává obvykle ve stupních Fahrenheita¹, se ve většině světa používá stupnice Celsiova². Jeden stupeň Fahrenheita má hodnotu 5/9 stupně Celsia a stupnice je nastavena tak, že 0 °C odpovídá 32 °F. Převodní vztahy mezi hodnotami teploty v Celsiově a Fahrenheitově stupnici jsou vyjádřeny vzorci (1.1) a (1.2) [1].

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 \quad (1.1)$$

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32) \quad (1.2)$$

Dalšími, dnes už prakticky nepoužívanými jednotkami, jsou stupeň Rankina a stupeň Réaumura. Základní jednotkou SI je Kelvin, který je rozměrově shodný se stupněm Celsia, ale celá stupnice je posunuta tak, aby hodnota 0 K odpovídala tzv. absolutní nule³ jak to vyjadřuje rovnice (1.3) [1].

$$T_C = T - 273,15 \quad (1.3)$$

Pro měření teploty potřebujeme zařízení, které je schopné tuto fyzikální veličinu transformovat na veličinu jinou, která bude snadno kvantifikovatelná. Nejvýhodnější

¹Daniel Gabriel Fahrenheit (★1686 †1736) byl německý fyzik. Nejvýznamnějším Fahrenheitovým vynálezem je jeho skoro dokonalý rtuťový teploměr. [2]

²Anders Celsius (★1701 †1744) byl švédský astronom a fyzik. Stal se známým roku 1742, kdy navrhl Celsiovu sto dílkovou teplotní stupnici. Jeho stupnice ale byla původně obrácená, bod varu vody měl 0 ° a bod tuhnutí +100 °. [3]

³Absolutní nula je nejnižší teoretické teplota, která však není prakticky dosažitelná. Poslední nejtěsnější přiblížení k absolutní nule (100 pK) bylo publikováno v roce 2000 skupinou Low Temperature Laboratory v práci zkoumající vliv nízkých teplot na magnetismus Rhodia. [4]

se z tohoto pohledu jeví snímače, které na základě různých fyzikálních principů dokážou převést teplotu na elektrickou veličinu.

1.1.1 Snímače podle fyzikálního principu

Snímače metalické

Vodivost kovů (až na některé speciální slitiny) s rostoucí teplotou klesá, děje se tak díky narůstajícímu počtu srážek vodivostních elektronů s kmitající krystalickou mřížkou, to je principem fungování metalických teplotních snímačů. Příklad charakteristiky je patrný z obrázku 1.1.

Nejčastějším materiálem bývá platina, protože je použitelná ve velkém rozsahu teplot, chemicky odolná a její odpor je mimořádně dlouhodobě stálý. Dalším vhodným materiálem je Nikl, který má sice menší rozsah použitelných teplot a dlouhodobou stálost, ale větší teplotní součinitel odporu.

Snímače polovodičové – polykrystalické

Snímače z polykrystalických polovodičů nazýváme termistory, jejich teplotní součinitel může být záporný (s teplotou jejich elektrický odpor klesá), ty nazýváme NTC termistory, ale také kladný ty nazýváme PTC termistory. Porovnání charakteristik je na obrázku 1.1.

NTC termistory nebo také negastory se vyrábí spékáním kombinace oxidů železa, niklu, kobaltu, titanu a mědi. Lze u nich dosáhnout provozních teplot v rozsahu -200 až $+1000$ °C. Závislost jejich elektrického odporu na teplotě je nelineární a je dána vztahem (1.4) [5].

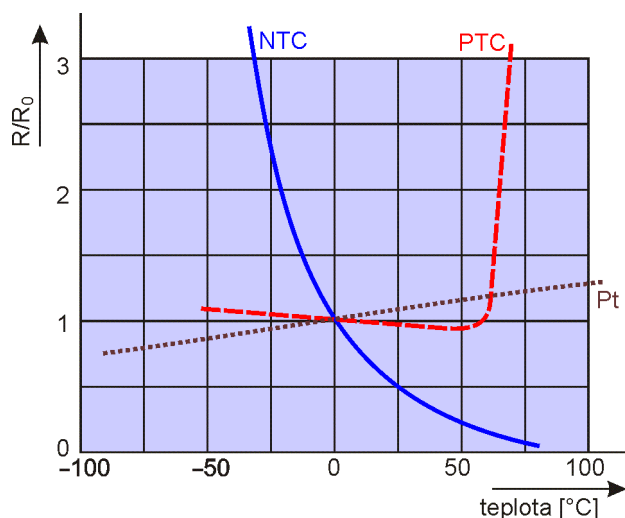
$$R = R_0 \exp \left[-B_t \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (1.4)$$

Kde R a R_0 jsou hodnoty elektrického odporu při teplotách T a T_0 a B_t je materiálový teplotní součinitel.

PTC termistory se dále dělí na dvě různé kategorie termistorů s rozdílnou charakteristikou a také využitím, jsou to:

- **Silistory** – PTC termistory dopované křemíkem, které mají v pracovní oblasti téměř lineární závislost odporu na teplotě s kladným teplotním koeficientem.
- **Pozistory** – ty mají ve své charakteristice mezi pásy s klesajícím odporem výraznou oblast s jeho strmým nárůstem, které se využívá. Vyrábí se nejvíce ze

sloučenin Baria, olova a stroncia. Díky své charakteristice, se pozistory uplatní více jako polovodičové pojistky, než k měření teploty [6].



Obr. 1.1: Příklad charakteristik pro různé typy snímačů [5]

Snímače polovodičové – monokrystalické

Monokrystalické snímače mohou být provedeny bez nebo s polovodičovým přechodem, případně i s více přechody.

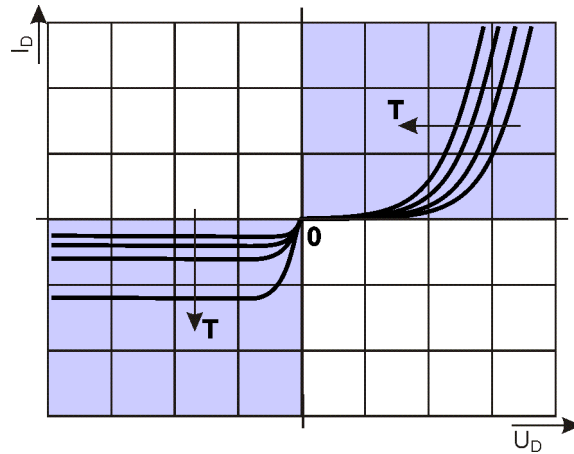
Monokrystalické snímače bez polovodičového přechodu jsou v závislosti na požadovaném teplotním rozsahu nebo citlivosti k magnetickému poli vyrobeny z křemíku, germania nebo galium-arzenidu, mají dlouhodobou stabilitu a kladný pouze mírně nelineární teplotní součinitel.

Snímače s polovodičovým přechodem jsou založeny na úbytku napětí polovodičového přechodu. Při napájení konstantním proudem je závislost úbytku polovodičového přechodu na teplotě lineární podle vztahu (1.5) [5].

$$U_D = \frac{nk}{e} \ln \left(1 + \frac{I}{I_S} \right) T \quad (1.5)$$

kde k je Boltzmannova konstanta, n činitel závislý na typu polovodiče, e elementární náboj a I_S je nasycený proud diodou ve zpětném směru.

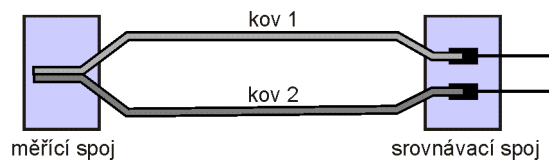
Používají v širokém rozsahu teplot a jsou frekventovaným prvkem pro výrobu elektronických teplotních senzorů. Velmi často jsou integrovány ve společném pouzdru s obvody pro další úpravu signálu (např. s A/D převodníkem).



Obr. 1.2: Charakteristiky PN přechodu v závislosti na teplotě [7]

Termoelektrické snímače

Termoelektrické snímače jsou založeny principu termoelektrického článku, kdy je na styku dvou kovů s různou výstupní prací generován potenciálový rozdíl úměrný teplotě styku. Praktické uspořádání je založeno na obvodu se spojením měřicím a spojením srovnávacím, které má známou teplotu. Výsledná velikost napětí je úměrná rozdílu teplot těchto spojů. Konstantní teplotu srovnávacího spoje pak můžeme zajistit např. termostatem, případně můžeme termoelektrické napětí vznikající na tomto spoji vhodně kompenzovat. Používané kombinace kovů a slitin jsou např.: měď – nikl, niklchrom – niklhlinitík, niklchrom – měďnikl apod.



Obr. 1.3: Princip termočlánku

Další typy snímačů

Mezi další typy snímačů můžeme podle jevu, který využívají zařadit např.:

- **radiační** – vlnová délka na které těleso vyzařuje odpovídá jeho teplotě,
- **strunové** – změna rezonance struny v závislosti na teplotě,
- **piezoelektrické** – změna rezonančního kmitočtu piezoelektrického rezonátoru v závislosti na teplotě,
- **šumové** – změna tepelného šumu rezistoru v závislosti na teplotě,

- **akustické** – změna rychlosti šíření zvuku v závislosti na teplotě,
- **optické** – modulace optického signálu procházejícího optickým vláknem,
- **chemické** – tzv. teploměrné barvy, které při změně teploty mění spektrum odraženého světla.

1.1.2 Teplotní snímače jako elektronické součástky

Snímače teploty jsou nejčastěji vyráběny jako miniaturní součástky nebo integrované obvody, které obsahují mimo vlastního senzoru, také další obvody pro zesílení, linearizaci, digitalizaci nebo jinou úpravu výstupního signálu. Z velkého množství komerčně vyráběných teplotních snímačů uvedme pro ilustraci několik příkladů.

Platinový senzor SA10100609

Uvedený platinový senzor byl zvolen jako zástupce metalických teplotních snímačů, pracuje v teplotním rozsahu -55 až $+500$ °C a jeho elektrický odpor je 100Ω při 0 °C se změnou přibližně 10Ω na každých 10 °C.

Snímač KTY 82-210

Snímač KTY 82-210 je zástupcem rodiny křemíkových PTC termistorů. Je určen pro teplotní rozsah -55 až $+150$ °C a při teplotě $+25$ °C je jeho elektrický odpor přibližně $2 \text{ k}\Omega$.

Teplotní snímač LM35

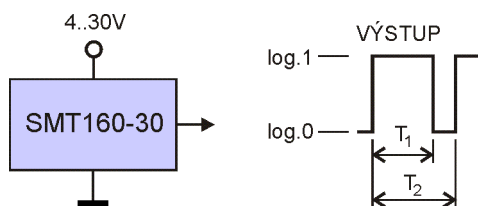
Tento a všechny následující snímače jsou založeny na polovodičových přechodech. Pracuje v teplotním rozsahu -55 až $+150$ °C a poskytuje na svém výstupu napětí, které je vnitřně zkalibrováno a linearizováno tak, že je přímo úměrné naměřené teplotě (teplotě 25 °C odpovídá napětí 250 mV se změnou o 10 mV na 1 °C). Napájení je možné v širokém rozmezí 4 až 30 V a jeho nejvyšší přesnost je nastavena do hodnot okolo 25 °C, kde dosahuje $0,5$ °C. Snímač LM35 je nabízen v různých variantách pouzder [8].

Teplotní snímač SMT160-30

Snímač SMT160-30 je zástupcem integrovaných snímačů, které převádějí teplotu na střihu napětí – provádí pulzně šířkovou modulaci (PWM). Výstupní modulace (obr. 1.4) je lineárně závislá na teplotě podle vztahu (1.6) [9].

$$\frac{T_1}{T_2} = 0,320 + 0,00470t \quad (1.6)$$

Takový signál lze pak bez potřeby A/D převodníku snadno digitalizovat např. pomocí interního čítače v mikrokontroléru. Snímač má přesnost $0,7^\circ\text{C}$, pracuje v rozsahu -45 až $+150^\circ\text{C}$ a napájí se stejnosměrným napětím $4,75$ až 7 V. Také tento snímač je nabízen v různých pouzdrech a má nízkou vlastní spotřebu.



Obr. 1.4: Teplotní snímač SMT160 a průběh výstupního signálu [9]

Teplotní snímač DS18B20

Jako poslední typ představíme snímač DS18B20, jehož užitná hodnota je z uvedených zástupců nejvyšší. Pracuje v rozsahu -55 až $+125^\circ\text{C}$, přičemž v rozsahu -10 až $+85^\circ\text{C}$ dosahuje přesnosti $0,5^\circ\text{C}$. Požadované stejnosměrné napájecí napětí je $3,0$ až $5,5$ V a lze ho realizovat také přímo po datovém vodiči. Snímač poskytuje teplotu už v digitální podobě a hloubka A/D převodu je volitelná v rozsahu 9 až 12 bitů. Mimo to má snímač zabudovaný ALARM systém, který samočinně porovnává aktuální teplotu s přednastavenou dvojicí hodnot. Díky tomu, že je každý snímač vybaven unikátním 64 bitovým kódem, lze na společné sběrnici obsluhovat více snímačů současně. Nevýhodou se může jevit nutnost aplikace obsluhy sběrnice one-wire⁴, pro kterou jsou však volně k dispozici programové knihovny.

1.2 Bezdrátové sítě – WLAN

Bezdrátové lokální sítě – WLAN (Wireless Local Area Network) mají stále rostoucí podíl v lokálních počítačových sítích, protože umožňují okamžité zřízení dostatečně rychlého i bezpečného připojení a to bez nákladů na médium fyzické vrstvy a v neposlední řadě s mobilitou terminálů. Těžiště využití je v bezdrátovém připojení

⁴Rozhraní one-wire, známé také jako MicroLAN™ umožňuje po jednom datovém vodiči poloduplexní komunikaci typu Master-Slave. Celá sběrnice může mít dvou nebo třívodičové uspořádání.

počítačů a periférií k lokální síti a také poskytování připojení uživatelům pro tzv. poslední míli.

WLAN sítě jsou popsány sérií standardů 802.11 a jejich komponenty nesou obchodní označení Wi-Fi (Wireless Fidelity) s logem uvedeným na obrázku 1.5 [11].



Obr. 1.5: Wi-Fi – obchodní označení

1.2.1 Architektura WLAN

Sítě WLAN mohou mít různé uspořádání a podporují několik provozních režimů, tzv. sad služeb. Centrálním bodem (mimo Ad-hoc spojení) je AP (Access Point), který řídí veškerou komunikaci a vytváří tzv. buňku. Ve stejné oblasti může být více aktivních sítí současně. Každá síť je identifikována svým SSID (Service Set Identifier), což je řetězec délky až 32 znaků.

Sady služeb

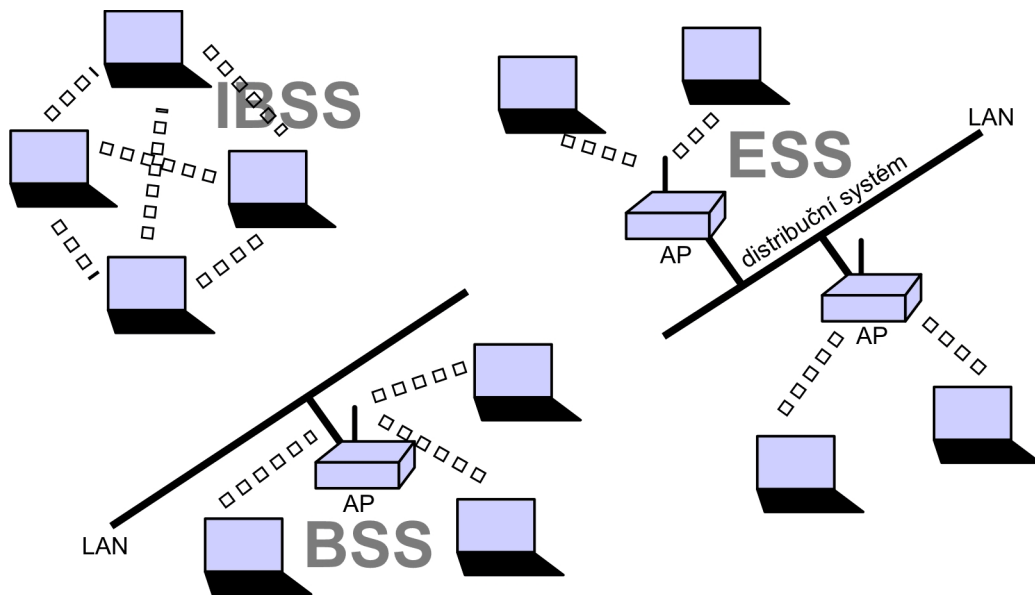
WLAN podporuje následující typy služeb:

- **BSS** (Basic Service Set) – základní sada služeb, kdy je síť řízená jediným přístupovým bodem přes který probíhá veškerá komunikace,
- **ESS** (Extended Service Set) – rozšířená sada služeb, kdy stanice využívají distribuční systém s více AP, které jsou navzájem spojeny jinou např. metalickou sítí,
- **IBSS** (Independent Basic Service Set) – nezávislá sada služeb, síť obsahuje pouze Ad-hoc klienty se společným SSID, kteří komunikují přímo mezi sebou.

Schematické znázornění uvedených typů služeb je na obrázku 1.6.

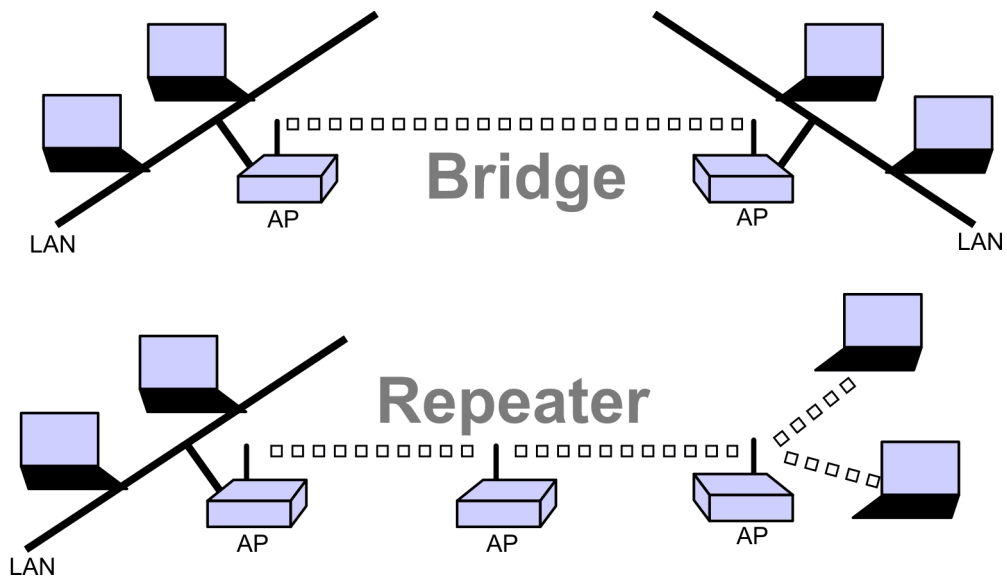
Módy přístupového bodu

Zařízení nazývané přístupový bod (AP) může implementovat několik provozních režimů:



Obr. 1.6: Schéma typů služeb [11]

- **root mode** – základní mód přístupového bodu,
- **bridge mode** – AP zajišťují propojení dvou segmentů lokální sítě – obr. 1.7,
- **repeater mode** – další AP rozšiřují oblast pokrytí signálem – obr. 1.7,
- **client mode** – AP je klientem a pouze zprostředkovává připojení do bezdrátové sítě stanici, která sama nemá WLAN rozhraní.



Obr. 1.7: AP jako Bridge mode a Repeater mode

1.2.2 Fyzická vrstva

U nás použitelná přenosová pásma (2,4 a 5 GHz) a příslušné maximální výkony definuje *Všeobecné oprávnění č. VO-R/12/08.2005-34 Českého telekomunikačního úřadu*.

Pro fyzickou vrstvu je definováno několik technologií

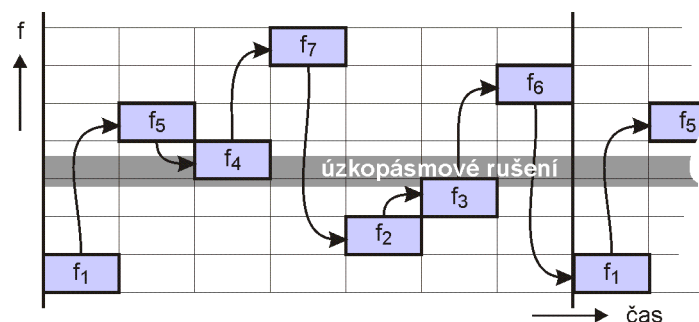
- **DSSS** (HR/DSSS) – Direct Sequence Spread Spectrum – přímé rozprostírání pseudonáhodnou rozprostírací posloupností,
- **FHSS** – Frequency Hopping Spread Spectrum – rozprostírání pomocí frekvenčního skákání,
- **OFDM** – Orthogonal Frequency Division Modulation – ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením,
- **IR** – Infrared – přenos infračerveným zářením.

DSSS

V DSSS je provedeno rozprostření vysílaných dat pseudonáhodnou kódovou sekvencí na výslednou šířku pásma 20 MHz. Zatímco v původním standardu 802.11 je definována pro rychlost 2 Mb/s, ve standardu 802.11b je technologie DSSS (přesněji HR/DSSS) definována pro rychlosti až do 11 Mb/s. [12]

FHSS

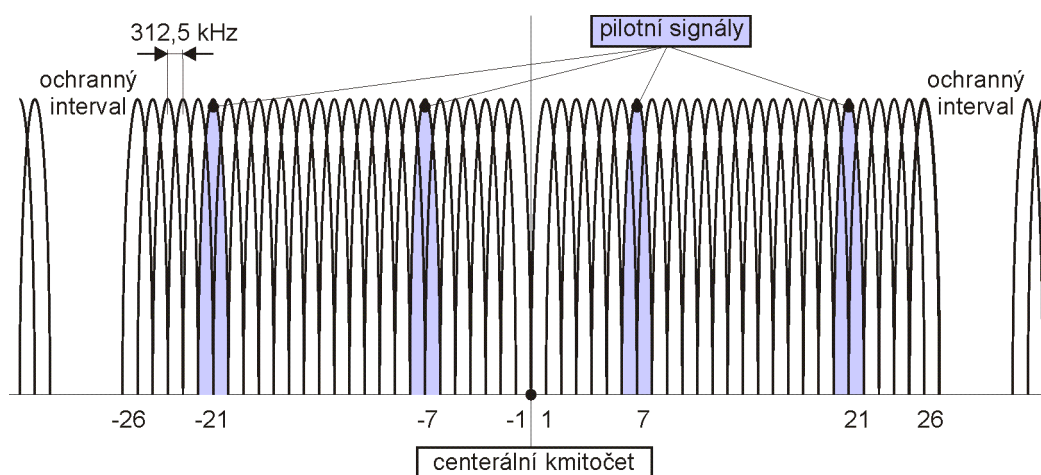
Frequency Hopping nebo-li frekvenční skákání znamená, že nosná vysílaného signálu se mění podle předem dané pseudonáhodné sekvence – obr. 1.8, přičemž šířka kanálu je obvykle 1 MHz a doba vysílání na každé frekvenci je 400 ms. Metoda FHSS byla definována prvním standardem 802.11 z roku 1997 a z novějších je vyřazena. [12]



Obr. 1.8: Princip frekvenčního skákání [11]

OFDM

Ortogonální multiplex je založen na rozdělení spektra na dílčí signály takovým způsobem, že se maximum každé nosné kryje s minimy ostatních – obrázek 1.9. V OFDM je celková rychlost součtem rychlostí ve všech použitých kanálech, podle standardů 802.11g (v pásmu 2,4 GHz) a 802.11a (v pásmu 5 GHz) jsou dosahované rychlosti až 54 Mb/s. Konkrétní rychlost pak závisí na druhu použité kanálové modulace (BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM). [12]



Obr. 1.9: Schéma OFDM pro 802.11a [11]

IR

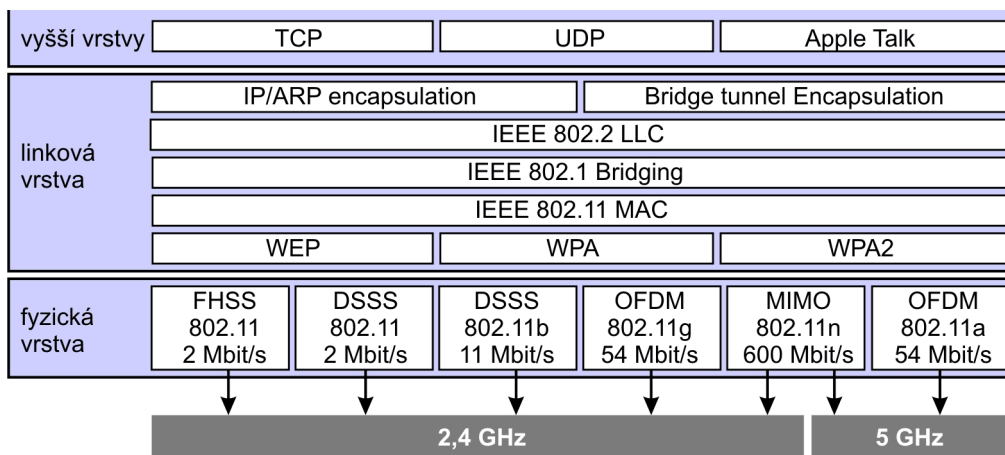
Technologie pracuje na přenosu pomocí infračerveného záření (300-428 THz) s rychlostmi 1 a 2 Mb/s. Dosahované výsledky co do překonané vzdálenosti a rychlosti nebyly dobré a tato technologie definovaná v původním standardu 802.11 se neujala. [12] [13]

1.2.3 Linková vrstva

Linková vrstva zajišťuje propojení jednotlivých sousedních uzlů sítě a dělí se na podvrstvy

- **LLC** – Logical Link Control – řízení logického spoje,
- **MAC** – Medium Access Control – řízení přístupu ke sdílenému médiu.

Významnou úlohou MAC vrstvy je distribuovaná koordinační funkce (DCF), která aplikuje přístupovou metodu CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Celkový model vrstev zachycuje obrázek 1.10.

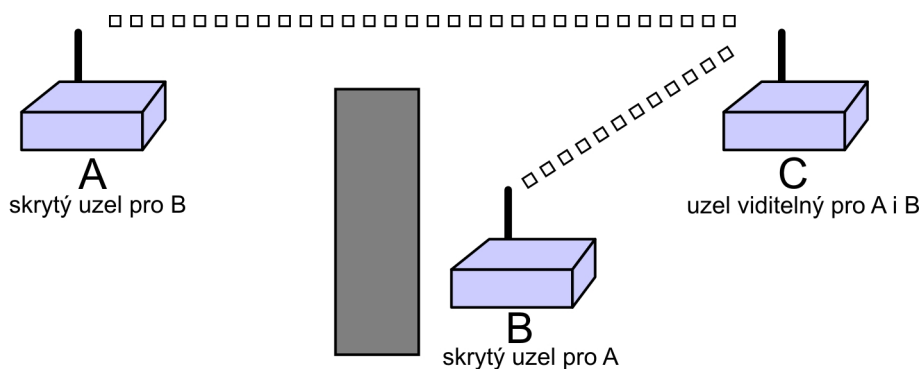


Obr. 1.10: Vrstvový model standardu 802.11 [14]

CSMA/CA

Aplikovaná přístupová metoda CSMA/CA spočívá v tom, že stanice hodlající vysílat musí napřed kontrolovat provoz. Je-li kanál volný, zahájí stanice čekání po dobu DIFS plus předem vygenerovaný náhodný interval, přičemž je tento závislý na předchozích pokusech (s neúspěchem se prodlužuje). Je-li kanál obsazený, je čítač čekání zastaven a v čítání pokračuje opět po uvolnění kanálu.

Metoda CSMA/CA však sama neumí řešit tzv. problém skrytého uzlu – obr. 1.11. Nelze totiž zaručit, že všechny stanice jsou schopny detekovat vysílání všech ostatních stanic a kanál může být falešně vyhodnocen jako volný (stanice A nezachytí signál ze stanice B, zatímco stanice C ano).



Obr. 1.11: Znázornění problému skrytého uzlu

Problém řeší až metoda DCF-RTS/CTS, kdy stanice před vlastním vysíláním provádí žádost rezervaci kanálu pomocí RTS (Request To Send) a vysílání začne až po obdržení povolení k vysílání CTS (Clear To Send). Vzhledem k tomu, že

zprávy obsahují plánovanou dobu vysílání a jsou vysílány oběma cílovými body, je pravděpodobné, že následující vysílání nebude kolizní.

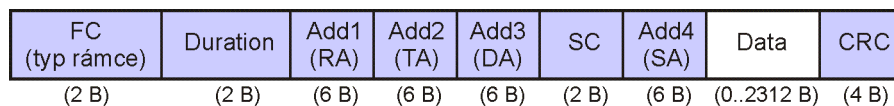
Jinou alternativou pro řízení přístupu je PCF (Point Configuration Function), kdy namísto soupeření o kanál řídí provoz stanice v roli Point Coordinator.

Typy a struktura rámců

Rozeznáváme 3 základní typy rámců:

- **rámce správy** – žádost o připojení k AP, autentizaci nebo odpojení,
- **řídící rámce** – rámce pro rezervaci a potvrzení (RTS, CTS, ACK, CF),
- **datové rámce**

Strukturu datového rámce ukazuje obrázek 1.12. Zvláštním typem rámce správy je koordinační rámec tzv. beacon, který je vysílán AP v předem definovaných intervalech a obsahuje SSID, časový údaj pro synchronizaci stanic, podporované přenosové rychlosti apod.



LEGENDA

Duration ... předpokládaná doba přenosu

Add ... MAC adresy (RA radiový přijímač, TA radiový vysílač, DA koncový adresát, SA odesílatel)

SC ... pořadové číslo rámce a fragmentu

CRC ... kontrolní součet

Obr. 1.12: Struktura rámce WLAN [11]

Metody zabezpečení

Vzhledem k rostoucí hustotě sítí a tedy jejich snadné dostupnosti, hraje významnou roli úroveň zabezpečení, přestože první standard 802.11 dokonce nedefinoval zabezpečení na linkové vrstvě vůbec. Později ve standardu 802.11b definované šifrování WEP (Wired Equivalent Privacy) pomocí statického symetrického klíče bylo snadno prolomitelné a až současné zabezpečení WPA (Wireless Protected Access) a WPA2 na bázi dynamické změny klíčů poskytují uspokojivou úroveň bezpečnosti. K posílení bezpečnosti lze šifrování ještě doplnit autentizačním protokolem EAP (Extensible Authentication Protocol).

Dalšími způsoby zvyšujícími bezpečnost jsou filtrování stanic podle MAC adres, případně nevysílání SSID (což je ovšem v rozporu se standardem). [14]

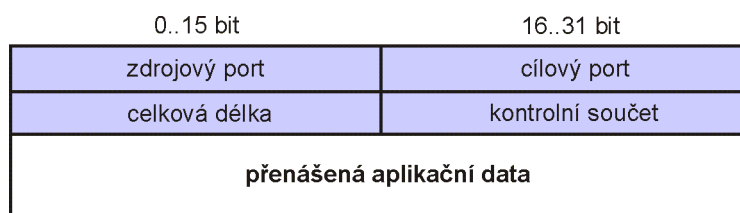
Průběh připojení do sítě

Zařízení, které požaduje přístup do sítě nejdříve pasivně naslouchá koordinační rámce, případně aktivně vyšle požadavek (rámec Probe Request) a následně vyhodnocuje odpovědi (Probe Response). Z přijatých odpovědí vybírá požadovanou síť podle identifikátoru, při více nabídkách, také podle síly signálu. Zvolenému AP vysílá žádost o autentizaci (rámec Authentication) a v případě úspěchu pokračuje žádostí o asociaci (Association Request). AP následně ve své vnitřní tabulce zaeviduje stanici a potvrdí ji úspěšnou asociací (rámec Association Response). [11]

1.3 Protokoly TCP a UDP

Transportní vrstva podle referenčního modelu TCP/IP má za úkol zajistit přenos mezi dvěma koncovými body komunikace – aplikacemi. Nejvýznamnější protokoly této vrstvy jsou protokol TCP (Transmission Control Protocol), který zajišťuje spojenou službu se schopností regulace toku dat a zajištěním jejich doručení a dále protokol UDP (User Datagram Protocol), který je výrazně jednodušší, tvoří pouze obálku na IP protokolem a uvedené funkce nepodporuje.

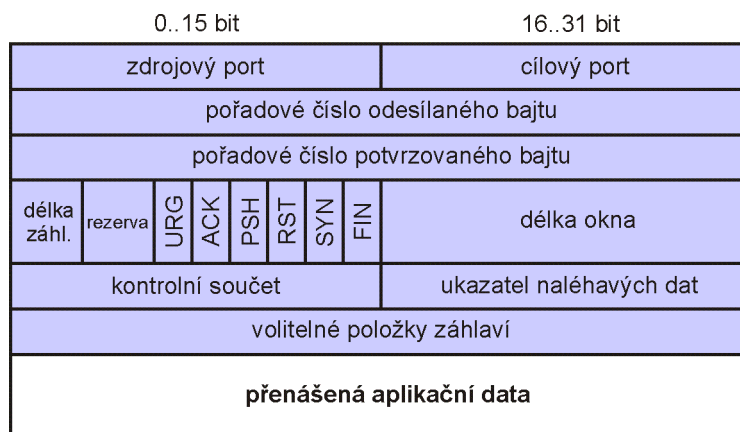
Datové jednotce protokolu UDP říkáme datagram a jeho struktura je naznačena na obr. 1.13. Využití nachází např. při přenosu hlasu nebo videa, kde důležitější než spolehlivé doručení všech odeslaných dat, je minimalizace zpoždění a míry jeho kolísání. Další významná oblast je při šíření informací obecného oznamovacího nebo dotazovacího charakteru a např. tam, kde není přesně znám příjemce dané informace, typickým příkladem je vyhledávání síťových služeb.



Obr. 1.13: Struktura UDP datagramu [15]

Odlišně je na tom protokol TCP, jeho datovou jednotku nazýváme obvykle segment a na přenos tímto protokolem klademe přísnější nároky. Hlavním rozdílem je, že mezi oběma koncovými body komunikace vzniká spojení. To sebou sice přináší jistou režii při jeho budování, vlastním provozu i ukončování, ale zajišťuje nám spolehlivé doručení odeslaných dat vždy v originálním pořadí datových jednotek. Na

obr. 4.1 je vidět konkrétní průběh takového spojení, jak byl zaznamenán při ladění programového vybavení v dalších částech této práce. Obrázek struktury TCP segmentu je na obr. 1.14. Nad protokolem TCP jsou vystavěny nejvýznamnější služby pro přenos dat, např. FTP, HTTP, SMTP apod.



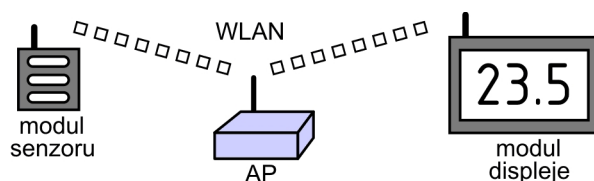
Obr. 1.14: Struktura TCP segmentu [15]

2 NÁVRH SYSTÉMU

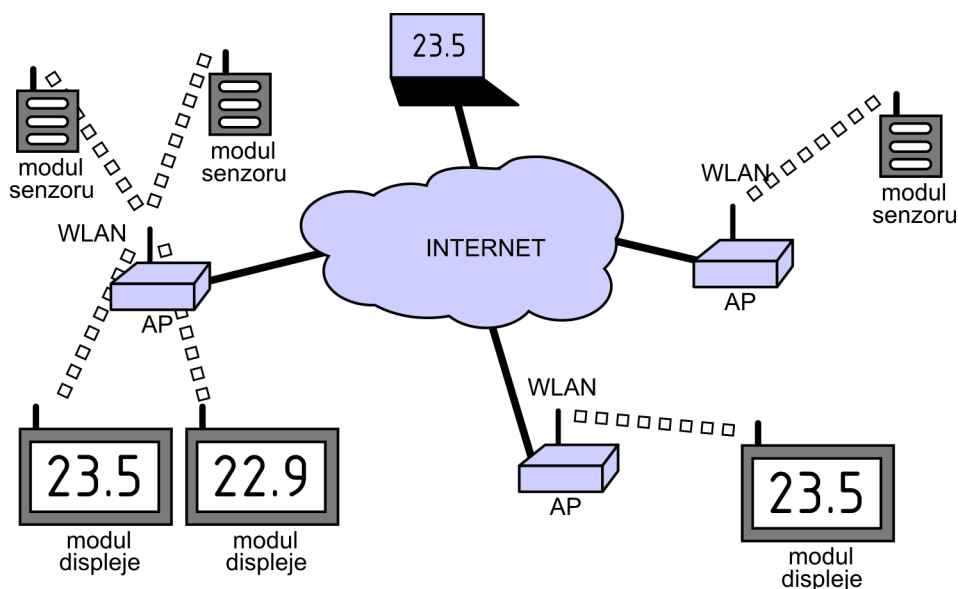
V této kapitole se pokusíme rámcově navrhnout takové řešení jednotek snímače a zobrazovače, aby byly splněny požadavky zadání a aby byl návrh dostupnými prostředky realizovatelný.

2.1 Architektura

Podle zadání bude systém pracovat s jednotkami snímačů a zobrazovačů, přičemž se nabízí, že naměřená hodnota může být zobrazena i např. na jiném zařízení (počítači, komunikátoru apod.) a to i např. v jiné síti se spojením přes internet. Od minimální architektury na obr. 2.1 se tak dostáváme např. k uspořádání na obr. 2.2.



Obr. 2.1: Minimální architektura



Obr. 2.2: Rozšířená architektura

Jednotky snímačů i zobrazovačů budou identifikovány svou IP adresou. Protože jednotka zobrazovače musí jednoznačně znát svůj datový zdroj – příslušnou jednotku snímače, přičemž může existovat více zobrazovačů stejného snímače, jeví se

jako výhodné postavit snímač do role serveru a zobrazovač do role klienta. Klient (zobrazovač) se tak může pravidelně dotazovat serveru (snímače) na hodnotu teploty.

Bude výhodné podporovat také možnost opačného uspořádání, kdy aktivitu přebírá jednotka snímače. Při použití protokolu UDP, bude možné efektivněji zajistit přenos v takové síti, kde bude více zobrazovačů přijímat data z jednoho snímače. Zobrazovač bude naslouchat na UDP portu a pokud nebudou data do určité doby k dispozici, teprve potom vytvoří TCP spojení k požadovanému snímači a odešle dotaz na teplotu.

Oba druhy jednotek musí být konfigurovatelné, tzn. musí podporovat upload nastavení, které pak bude uloženo v paměti dané jednotky. Protože aplikujeme síťovou komunikaci pro přenos dat, bude výhodné použít ji také pro nastavování jednotek, namísto nutnosti přidávat další typ rozhraní.

2.2 Komunikace

Komunikaci v navrhovaném systému můžeme rozdělit na vnitřní a vnější. Uvnitř každé jednotky bude probíhat komunikace mezi řídicím mikrokontrolérem a WLAN modulem, ale mezi jednotkami, případně mezi jednotkou a jinou aplikací v počítačové síti bude probíhat komunikace vnější. Vnější komunikace a její protokol bude předmětem tohoto návrhu, zatímco vnitřní komunikace je definována WLAN modulem, který později v kapitole 3.1.1 vybereme.

Jak vyplývá z předchozí kapitoly 2.1 bude v systému nutné provozovat vnější komunikaci několika typů:

- **Zobrazovač se aktivně dotazuje jednotky snímače na aktuální data.** V běžném provozu, když nebudou jednotky součástí společné sítě, je právě tato komunikace stěžejní. Jednotka zobrazovače (klient) bude v nastavitelném intervalu navazovat TCP spojení na určenou adresu a port snímače, kam zašle dotaz na aktuální data.
- **Konfigurační aplikace zjišťuje nebo mění nastavení jednotky.** Tato komunikace vyžaduje, aby všechny jednotky (snímače i zobrazovače) naslouchaly na určeném portu připojení konfigurační aplikace. Ta pak bude mít možnost přečíst nastavení (download) a také nové nastavení odeslat k jednotce (upload).
- **Jednotka snímače sama vysílá informaci s aktuálními daty.** Tento přenos dat bude výhodné provozovat zejména jako všesměrové vysílání, kdy předpokládáme více zobrazovačů k jednomu snímači v rámci dosahu UDP broadcastu.

2.2.1 Návrh protokolu

Pro přenos dat i konfigurace je nutné ustanovit aplikační protokol. Nabízí se volba z následujících variant

- navrhnout originální binárně orientovaný protokol,
- navrhnout originální textově orientovaný protokol,
- použít některý existující protokol.

Binární protokol se jeví jako velmi úsporný jak pro vlastní přenos, tak pro zpracování na straně příslušné jednotky. Pro maximální efektivitu by se mohlo jednat např. o pole bytů, které bude přímo čteno nebo zapisováno do paměti EEPROM dané jednotky jako její bitová kopie. Nevýhodou je však těsná vazba na příslušný firmware a nutnost použít pro komunikaci pouze specializovanou aplikaci. Vzhledem k předpokládanému malému objemu dat a uvedeným nevýhodám se tedy přikloníme k textově orientovanému protokolu, který umožní navíc pohodlnější ladění a to i ve fázi, kdy ještě nebude konfigurační aplikace k dispozici, např. pomocí softwarového terminálu. Byla zvažována rovněž možnost aplikovat existující např. protokol http, který by umožnil použít ke konfiguraci webové rozhraní, ale vzhledem k potřebným nárokům na programovou paměť nebyla tato možnost implementována.

Aplikační zpráva by mohla mít v principu pouze dva formáty, jeden pro datovou a druhý pro konfigurační komunikaci. Významně by se tím ale potlačily výhody plynoucí ze zvolené textové komunikace, proto rozdělíme konfiguraci do několika samostatných příkazů, které budou provádět modifikaci logicky souvisejících nastavení. Některá pak budou nezávislá na druhu jednotky a jiná budou logicky použitelná jen u daného typu.

Přenášené zprávy (příkazy i odpovědi) uvede vždy označení příslušného příkazu, za kterým mohou následovat argumenty. V případě, že se jedná o dotaz, je označení příkazu doplněno znakem „?“. Např. dotaz na nastavení displeje bude tedy znít **DISP?**, odpověď může mít tvar např. **DISP 0 300 4** a stejně formátován bude v tomto případě i příkaz např. **DISP 1 300 2**. V předchozím sledu se tedy jedná o změnu hodnoty dvou ze tří parametrů – snížení jasu displeje a přepnutí na zobrazení ve °F, jak bude vysvětleno dále v kapitole 2.2.2.

2.2.2 Přehled příkazů

Nyní uvedeme kompletní návrh všech typů zpráv s komentářem. Povinné argumenty jsou zapsány ve špičatých závorkách, nepovinné v závorkách hranatých.

Teplota

dotaz	DATA?
odpověď	DATA <akt.tep.> <stáří> <min.tep.> <stáří> <max.tep.> <stáří>
nastavení	<i>neexistuje</i>

Teplota je ukládána i přenášena v jednotce deciCelsius, při plánované přesnosti na jedno desetinné místo, která vychází z přesnosti použitého senzoru, se tak výhodně vyhneme manipulaci s desetinnými čísly. Za nedefinovanou hodnotu teploty je stanoveno číslo 0x7FFF. Abychom mohli vyhodnocovat aktuálnost naměřených nebo přijatých dat o teplotě a nemuseli přitom udržovat informaci o přesném čase, je součástí zprávy také tzv. stáří teploty udávané v minutách.

Jednotka snímače bude zasílat aktuální teplotu obvykle se stářím 0 min., ale minimální a maximální teplota mohou mít stáří až 45,5 dne (65535 min.) V jednotce zobrazovače se pak načtené stáří dále s přibývajícím časem každou minutu inkrementuje a porovnává s maximální povolenou hodnotou, která ještě může být zobrazena.

Identifikace

dotaz	ID?
odpověď	ID <pevný identifikátor> <volitelná část>
nastavení	ID <customId>

Každá jednotka je identifikována jednak pevným identifikátorem hardware (typ jednotky doplněný o číslo verze – např. **MDISP1**) a dále volitelnou částí, to je libovolný max. 16 znaků dlouhý řetězec, kterým lze příslušnou jednotku uživatelsky pojmenovat. Oba identifikátory jsou v odpovědi ukončeny znakem s ASCII kódem 0. Nastavovací zpráva má pouze argument s volitelnou částí identifikátoru, protože pevný identifikátor je konstanta uložená v paměti programu – nelze ji měnit.

Nastavení sítě

dotaz	NET?
odpověď	NET <IP adresa jednotky> <maska sítě> <IP adresa brány>
nastavení	NET <IP adresa jednotky> <maska sítě> <IP adresa brány>

Oba typy jednotek pracují s pevnou IP adresou, dalšími argumenty jsou maska sítě a IP adresa brány. Všechny adresy jsou v komunikačních zprávách uvedeny

dekadicky.

Nastavení WLAN

dotaz	WLAN?
odpověď	WLAN <vysílací výkon> <SSID> <typ zabezpečení>
nastavení	WLAN <vysílací výkon> <SSID> [PSK]

Příkaz pro nastavení bezdrátové sítě zahrnuje její identifikátor SSID a volitelně klíč PSK¹. Pokud je klíč uveden, předpokládá se zabezpečení typu WPA2, pokud uveden není, předpokládá se nezabezpečená síť. V odpovědi se PSK z důvodu jeho lepší ochrany nepřenáší, na jeho místě je uveden typ zabezpečení 0=nezabezpečená síť, 2=WPA2.

Vybraný WLAN modul (viz. kapitola 3.1.1) umožňuje také nastavení vysílacího výkonu v osmi stupních (0..7)², proto byla tato volba dodatečně zahrnuta mezi konfigurační parametry.

Nastavení měření

dotaz	MEAS?
odpověď	MEAS <interval měření> <IP vysílání> <interval vysílání>
nastavení	MEAS <interval měření> <IP vysílání> <interval vysílání>

Nastavení měření je dostupné pouze v jednotce snímače. Interval měření udává v sekundách jak často se provádí interně načítání teplot z teplotního senzoru. IP adresa a interval vysílání určují jak často v sekundách a na jakou adresu je prováděno automatické vysílání naměřených dat (0=automatické vysílání se neprovádí).

Nastavení zdroje dat

dotaz	SRC?
odpověď	SRC <IP adresa zdroje> <interval dotazů>
nastavení	SRC <IP adresa zdroje> <interval dotazů>

¹PSK (Pre-Shared Key) je všemi stanice sdílená tajná fráze na jejímž základě probíhá autentizace, tento způsob ověřování identity je vhodný zejména pro malé sítě

²Formát s jakým WLAN modul pracuje na úrovni AT příkazů, kdy 0 odpovídá nejvyššímu a 7 nejnižšímu výkonu je upraven – převrácen tak, aby hodnota argumentu logicky vypovídala o úrovni výkonu. Skutečný výkon odpovídající jednotlivým stupňům není však v dokumentaci WLAN modulu uveden.

Nastavení zdroje dat je dostupné pouze v jednotce zobrazovače, která na adresu zdroje dat v zadaném intervalu posílá dotazy na aktuální data (0=nepoužívat dotazování). Tato adresa je také použita pro filtrování UDP datagramů, pokud souhlasí, použijí se takto pasivně získaná data a plánovaný dotaz se odloží podle nastaveného intervalu.

Nastavení zobrazení dat

dotaz	DISP?
odpověď	DISP <jednotka 0=C, 1=F> <max.stáří teploty> <jas displeje>
nastavení	DISP <jednotka 0=C, 1=F> <max.stáří teploty> <jas displeje>

Nastavení zobrazování je taktéž dostupné pouze v jednotce zobrazovače. Umožňuje přepínat zobrazení mezi °C a °F a půjde s jeho pomocí také omezit zobrazování neaktuálních dat. Pokud stáří teploty překročí nastavenou maximální dobu v minutách, nebude hodnota teploty zobrazena a na displeji zůstane pro kontrolu funkce svítit pouze desetinná tečka. Jas displeje lze nastavit v rozsahu (1..5)³.

Restart

příkaz	RST
--------	------------

Povel **RST** objedná kompletní softwarový restart jednotky včetně modulu WLAN. Tento povel je využitelný zejména po modifikaci síťových nastavení, aby mohla být jejich změna aplikována.

Odpovědi

Všechny modifikační příkazy jsou potvrzeny jednou z následujících odpovědí:

OK	modifikace dat proběhla úspěšně (případně potvrzení příkazu RST)
ARG	chybné argumenty (hodnota nebo počet argumentů nesouhlasí)
ERR	neznámý příkaz

³Pro fázi ladění bude displej podporovat také nastavení jasu 0, které vypne displej úplně. Jedná se o pojistku proti zničení LED diod displeje při zastavení programu v době, kdy je k některým segmentům připnuto napájení. V konfigurační aplikaci už nebude tato volba dostupná.

2.2.3 Transportní vrstva

Z rozboru uvedeného v předchozí kapitole 2.2.1 plyne, že pro aktivní získávání dat a konfiguraci bude výhodné použít v transportní vrstvě protokol TCP a pro šíření teplot bez vyžádání (ideálně všesměrovým vysíláním) protokol UDP. Navíc bude logické oddělit datovou a konfigurační komunikaci do samostatných transportních portů, protože může vyžadovat rozdílné zacházení. Je výhodné, aby dotazy na data, které mohou být teoreticky konkurenční, byly ihned vyřízeny včetně odstranění navázaného spojení. Naproti tomu při konfiguraci se předpokládá vzájemná výměna několika zpráv v rámci daného spojení, přičemž celková délka probíhajícího spojení není kritická, protože se nepředpokládá více takových spojení současně.

Komunikační porty

Pro komunikaci byly zvoleny následující čísla portů z rozsahu User Ports (1024-49151) [18]

UDP 5000	šíření aktuálních dat aktivitou snímače
TCP 5001	dotaz na aktuální data aktivitou zobrazovače
TCP 5002	konfigurace pro oba druhy jednotek

3 HARDWARE

3.1 Návrh jednotky snímače

Jednotka snímače je samostatný funkční celek – hardwarové zařízení, které bude mít za úkol měřit teplotu a její hodnotu ve vhodné formě přenášet přes WLAN síť. Bude výhodné, použít stejné rozhraní také pro změny konfigurace zařízení, jak již bylo uvedeno v kapitole 2.1.

Hlavním komunikačním rozhraním je tedy v souladu se zadáním – WLAN. Vzhledem k tomu, že se jedná o standardní vybavení přenosných počítačů, jeví se jako výhodné, využít jej i pro nastavování konfigurace jednotek, bez nutnosti implementovat další rozhraní (USB apod.).

3.1.1 WLAN modul

Vzhledem k velké nabídce hotových WLAN modulů nebudeme implementovat rozhraní bezdrátové sítě přímo ve vyvíjeném zařízení, ale vybereme vyhovující komerční komponentu.

Výběr komponenty

V nabídce jsou moduly různých výrobců a s různou funkční výbavou napříč TCP/IP referenčním modelem. Jako nejvýhodnější se jeví rozdělení úloh tak, aby WLAN modul obsluhoval komunikaci na fyzické, linkové, síťové i transportní vrstvě referenčního modelu TCP/IP a vyvíjená jednotka snímače řídila komunikaci až na vrstvě aplikační.

Konečný výběr proběhl z modulů firem Lantronix (řada xPico), ConnectBlue, ConnectOne (řada Nano WiReach) a WIZnet (řada WizFi). I když je většina klíčových vlastností je u všech modulů na přibližně stejné úrovni, má každá řada nějakou specifickou vospělost (implementace speciálních protokolů, různé druhy řídicích rozhraní apod.). Právě porovnáním těchto funkcí byl zvolen modul WizFi210 korejské firmy WIZnet, který umožňuje kromě běžných konfigurací AP/Client a Ad-hoc, fungovat také jako autonomní AP a disponuje až 16 komunikačními kanály, které mohou být souběžně obsazeny jako client nebo server sockety TCP nebo UDP. [19]

Řídící rozhraní

Zvolený modul WizFi210 se ovládá AT příkazy buď přes UART rozhraní (standardní výbava), nebo přes sběrnici SPI (nutnost výměny firmware). Protože obě možnosti jsou pro náš účel stejně vhodně použitelné a jsou běžnou výbavou běžných mikrokontrolérů, byla s ohledem na snadnější debugování komunikace dána přednost už předinstalovanému firmware s UART rozhraním.

Modul obsahuje také několik dalších vstupů a výstupů, z nichž některé mají svou specifickou funkci a jiné jsou ve výchozím stavu (s dodávaným firmware) nepoužity. Funkčními vstupy jsou přepínač pro programování, přepínač pro datový režim, pro uvedení do továrního nastavení, pro probuzení modulu nebo pro detekci napětí baterie. Pro výstup jsou připraveny 3 signalizace stavu (asociace, datový režim, chyba).

Připojení modulu

UART rozhraní modulu bude k řídicímu mikrokontroléru připojeno vývody RxD a TxD v takovém provedení, aby je bylo možné přerušit, anebo propojit se sériovým rozhraním ladícího zařízení (např. přes převodník úrovní RS232 na COM port PC) – viz. obr. 3.14. Vzhledem k charakteru komunikace nebude řízení toku mezi MCU a WLAN modulem vyžadováno – vývody RTS a CTS zůstanou nezapojeny.

Další popsané funkční vstupy nebudou využívány a z výstupů použijeme pouze signalizaci asociace připojením LED.

Dále bude pro modul zajištěno připojení ke společnému napájecímu zdroji, který musí dodávat napětí v rozsahu 3,0 až 3,6 V, přičemž proudový odběr modulu při vysílání je max. 140 mA [19].

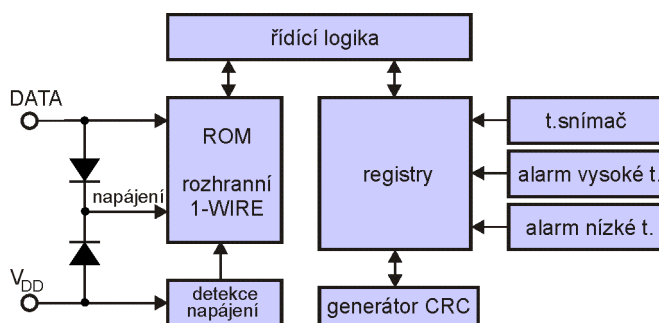
Modul je dodáván buď osazený malou „chip“ anténou přímo na své desce, nebo bez antény, pak je nutné anténu připojit připraveným U.FL konektorem, příp. přes příslušný pin modulu. Pro jednotku snímače byla vzhledem k jeho velikosti zvolena varianta s integrovanou anténou.

3.1.2 Teplotní snímač

Jako teplotní snímač zvolíme integrovaný obvod DS18B20, který jsme stručně představili už v kapitole 1.1.2, jeho blokové schéma je na obrázku 3.1. Digitalizace se u něj provádí přímo na čipu snímače, což je výhodnější než použít např. A/D převodník v mikrokontroléru. Obvod komunikuje sběrnici one-wire, která umožňuje použít společné vedení pro více snímačů. Další výhodou digitální komunikace je

možnost umístit snímač mimo jednotku a to do značných vzdáleností (i přes 100 m). Konkrétní maximální délka vedení je dána měrnou kapacitou kabelu a také počtem připojených zařízení podle vztahu (3.1) [20], kde C je kapacita vedení v pF/m a n je počet připojených zařízení.

$$l_{max} = \frac{10\,000 - 30n}{C} \quad (3.1)$$



Obr. 3.1: Teplotní snímač DS1820 – blokové schéma [21]

3.1.3 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér bude řídicí komponentou vyvíjených jednotek a jeho konkrétní volba vzhledem k široké nabídce na trhu není jednoduchá. S ohledem na budoucí vývoj programového vybavení byl výběr zúžen na rodinu mikrokontrolérů AVR od firmy Atmel ke které je k dispozici velká nabídka hotových knihoven zdrojového kódu a propracované vývojové prostředí.

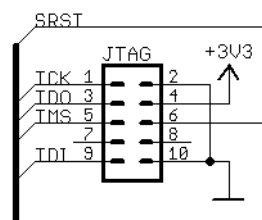
Mikrokontroléry AVR jsou nabízeny na trhu v mnoha variantách, při volbě budeme vycházet z prozatím známých požadavků:

- existence UART rozhraní,
- velikost FLASH paměti 16 KB¹,
- RAM paměť velikosti alespoň 1 kB,
- EEPROM paměť velikosti alespoň 256 B,
- napájecí napětí ve shodě se zvoleným WLAN modulem

¹Jedná se o hrubý odhad budoucí potřebné kapacity programové paměti.

Na základě uvedených požadavků byl zvolen mikrokontrolér ATmega16² disponující rozhraním JTAG³, které vyvedeme doporučeným způsobem pro snadné připojení běžných programátorů – obr. 3.2.

Procesor budeme taktovat externím oscilátorem na frekvenci 3,6864 MHz, který je v relaci s výchozí přenosovou rychlostí (115 200 bps) WLAN modulu [22]. Nepoužité digitální vstupy procesoru není díky jejich vnitřním pull-up rezistorům nutné úrovně ošetřovat vnějšími součástkami.



Obr. 3.2: Rozhraní JTAG

3.1.4 Ovládací a indikační prvky

Jediným ovládacím prvkem bude mikrospínač pro nouzový způsob uvedení do výchozího konfiguračního stavu. Jinak při běžném použití ani při nastavování nebude fyzický kontakt s jednotkou vyžadován.

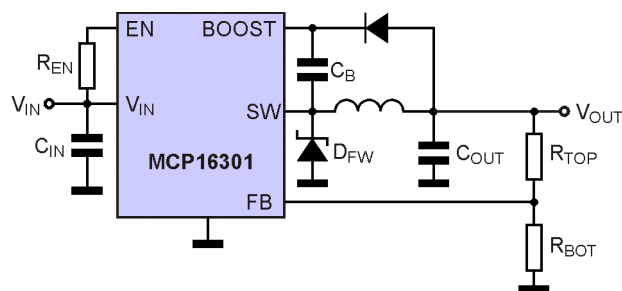
Pro servisní indikaci budou sloužit u obou jednotek shodně vždy 2 barevné LED. Jedna pro signalizaci asociace k AP a druhá bude charakterem svitu indikovat správnou funkci nebo poruchové stavy.

3.1.5 Napájení

Pro regulaci napájení byl zvolen integrovaný step-down měnič MCP16301 firmy Microchip, který je vzhledem ke svým miniaturním rozměrům (pouzdro SOD123) a minimální potřebě vnějších součástek i nízké ceně významným konkurentem lineárním stabilizátorům. Pro napájení zařízení bude díky tomu k dispozici široké rozmezí vstupního napětí 4 až 30 V a díky vysoké účinnosti měniče bez potřeby podporovat odvod tepla.

²Tato volba je podpořena také možností náhrady mikrokontrolérem ATmega32 se stejným uspořádáním vývodů, v případě vyšších nároků na programovou paměť.

³JTAG (standard IEEE 1149.1) definuje testovací obvody a komunikaci s nimi. Implementace JTAG v mikrokontrolérech Atmel umožňuje jeho rychlé programování, ale především výkonné



Obr. 3.3: Doporučené zapojení MCP16301 pro 3,3 V/150 mA [23]

$$R_{top} = R_{bot} \left(\frac{V_{out}}{0,8} - 1 \right) \quad (3.2)$$

Protože doporučené zapojení měniče (obr. 3.3) pro variantu výstupního napětí 3,3 V obsahuje těžko dostupný rezistor (hodnota 31,2 k Ω) a abychom nemuseli použít kombinaci více rezistorů, změníme napětí, které závisí na rezistorovém děliči podle vztahu (3.2) [23]. Pro rezistor $R_{top} = 33 \text{ k}\Omega$ bude výstupní napětí 3,44 V, které je v toleranci všech napájených obvodů.

Napájecí soustava bude zkvalitněna filtračním blokováním na napájecím vstupu tvořeného dvojicí tantalových kapacitorů 100 μF a keramickým kondenzátorem s hodnotou 1 μF . Lokální blokování pak zajistí samostatně pro MCU a pro komunikační modul kapacitory v řazení 10 $\mu\text{F} \rightarrow 100 \text{ nF} \rightarrow 1 \text{ nF}$.

3.2 Návrh jednotky zobrazovače

Jednotka zobrazovače je druhým samostatným hardwarovým funkčním celkem. Jejím úkolem bude zobrazovat naměřenou teplotu jejíž hodnota bude od příslušné jednotky snímače přenášena přes WLAN síť.

V částech, kde se oba návrhy překrývají, se budeme odvolávat na předcházející kapitolu 3.1 s návrhem jednotky snímače.

3.2.1 WLAN modul

Z pohledu návrhu i budoucího vývoje programového vybavení se jako efektivní jeví, použít stejný WLAN modul jako byl vybrán pro jednotku snímače v kapitole 3.1.1.

Jednotka zobrazovače bude proto také osazena modulem WizFi210, a protože to rozměry jednotky zobrazovače umožňují, ve variantě s externí anténou.

debugování

3.2.2 Mikrokontrolér

Ze stejných důvodů by bylo výhodné pro obě jednotky zvolit také řídicí mikrokontrolér stejné řady. Na vybavení vestavěnými periferními obvody máme stejné nároky jako u jednotky snímače a podobná bude zřejmě také potřebná kapacita jednotlivých pamětí, proto zvolíme shodný procesor tj. ATmega16.

3.2.3 Displej

Protože zobrazovací zařízení není v zadání blíže specifikováno, zvolíme displej s co nejlepší čitelností – velký segmentový červený LED displej. Vzhledem k omezením návrhového systému, které je popsáno v kapitole 3.3, vychází jako nejlepší kompromis displej s velikostí znaku 38 mm, který při plánovaném počtu 3 ks (3 číslice) a rezervou pro samostatné znaménko minus splní limitní rozměr pro rozmístění součástek. Ve shodě s uvedenými požadavky byl zvolen typ SA15-11SRWA firmy Kingbright.

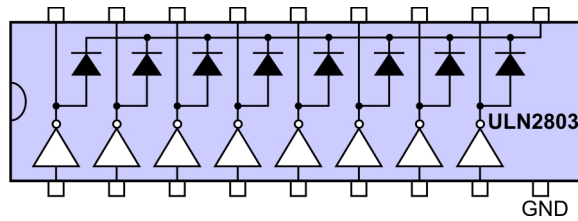
Katody segmentů displeje budou napájeny 8 kanálovým budičem ULN2803 (obrázek 3.4), který při použití multiplexního řízení stačí použít pouze jeden. Společná anoda každého displeje pak bude vždy dvojicí tranzistorů připojována k napájení. Zapojení displeje je patrné z části schématu na obr. 3.5. Napájecí napětí pro displej určíme v kapitole 3.2.5 a z něj vypočteme hodnoty rezistorů pro segmenty displeje. Do výpočtu podle vzorce (3.3) bude vstupovat předpokládané maximální napájecí napětí $U_{IN} = 12\text{ V}$, úbytek na vstupní diodě $U_D = 0,6\text{ V}$, úbytky na LED displeje $U_{LED} = 1,85\text{ V}$, úbytek na spínacím tranzistoru $U_{CE1} = 0,3\text{ V}$, v budiči segmentů $U_{CE2} = 1,1\text{ V}$ a maximální pulsní proud displeje (odpovídá impulsům 0,1 ms při střídě 1:10) $I_{max} = 150\text{ mA}$.

$$R = \frac{U_{IN} - U_D - U_{CE1} - 2U_{LED} - U_{CE2}}{I_{max}} \quad (3.3)$$

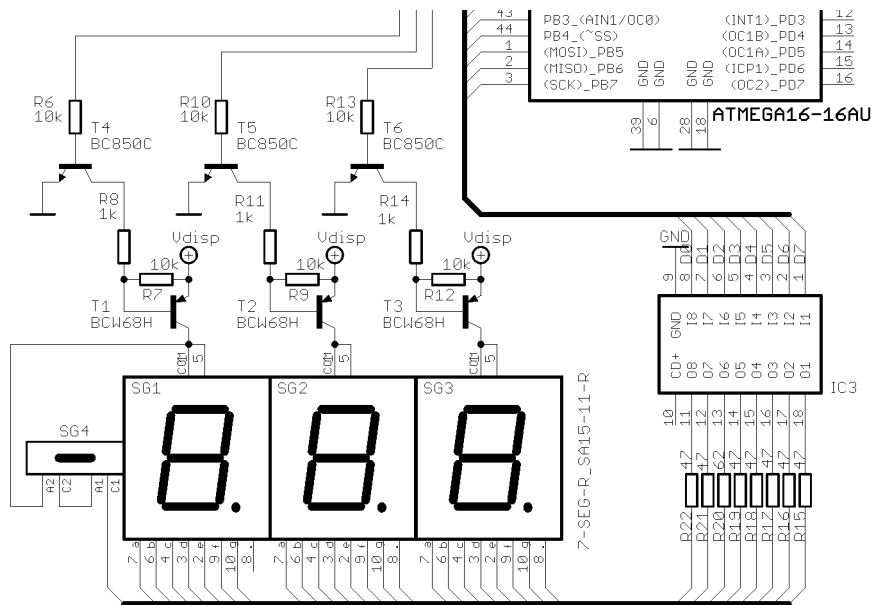
$$R = \frac{12 - 0,6 - 0,3 - 2 \cdot 1,85 - 1,1}{0,15} = 42\ \Omega \quad (3.4)$$

Vypočtená hodnota R je pro uvedené podmínky hraniční, v zapojení použijeme použijeme rezistor s hodnotu o cca 10 % vyšší, tj. $47\ \Omega$.

Obdobně určíme hodnotu rezistoru pro desetinnou tečku $R = 62\ \Omega$, který je realizován pouze jednou LED.



Obr. 3.4: Vnitřní uspořádání budiče ULN2803 [24]



Obr. 3.5: Řízení displeje

Pro znaménko minus je možné použít další celou segmentovku, částečnou segmentovku (znak +1) nebo prostorově úspornější komponentu, ke které se přikloníme. Vybíráme rozměrově i barevně korespondující LED light bar firmy Kingbright s označením KB-2300EW. Znaménko připojíme na volný kanál namísto desetinné tečky první segmentovky, která zůstane nezapojena.

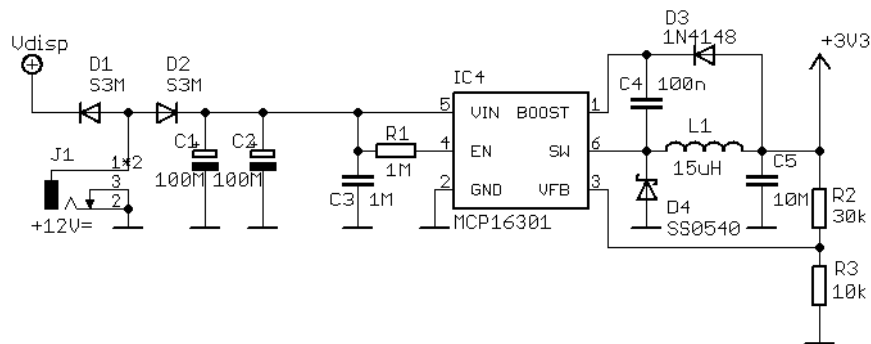
3.2.4 Ovládací a indikační prvky

Ostatní indikační prvky stejně jako mikrosplínač pro uvedení do výchozího konfiguračního stavu budou provedeny shodně s jednotkou snímače, jak bylo popsáno v kapitole 3.1.4. Pro indikaci některých poruchových stavů zde bude také možné a výhodné využít hlavní displej.

3.2.5 Napájení

Napájení volíme shodně jako v jednotce snímače v kapitole 3.1.5 o velikosti 3,4 V pomocí měniče MCP16301. Na rozdíl od prvního návrhu, budeme navíc potřebovat samostatné vyšší napětí pro displej.

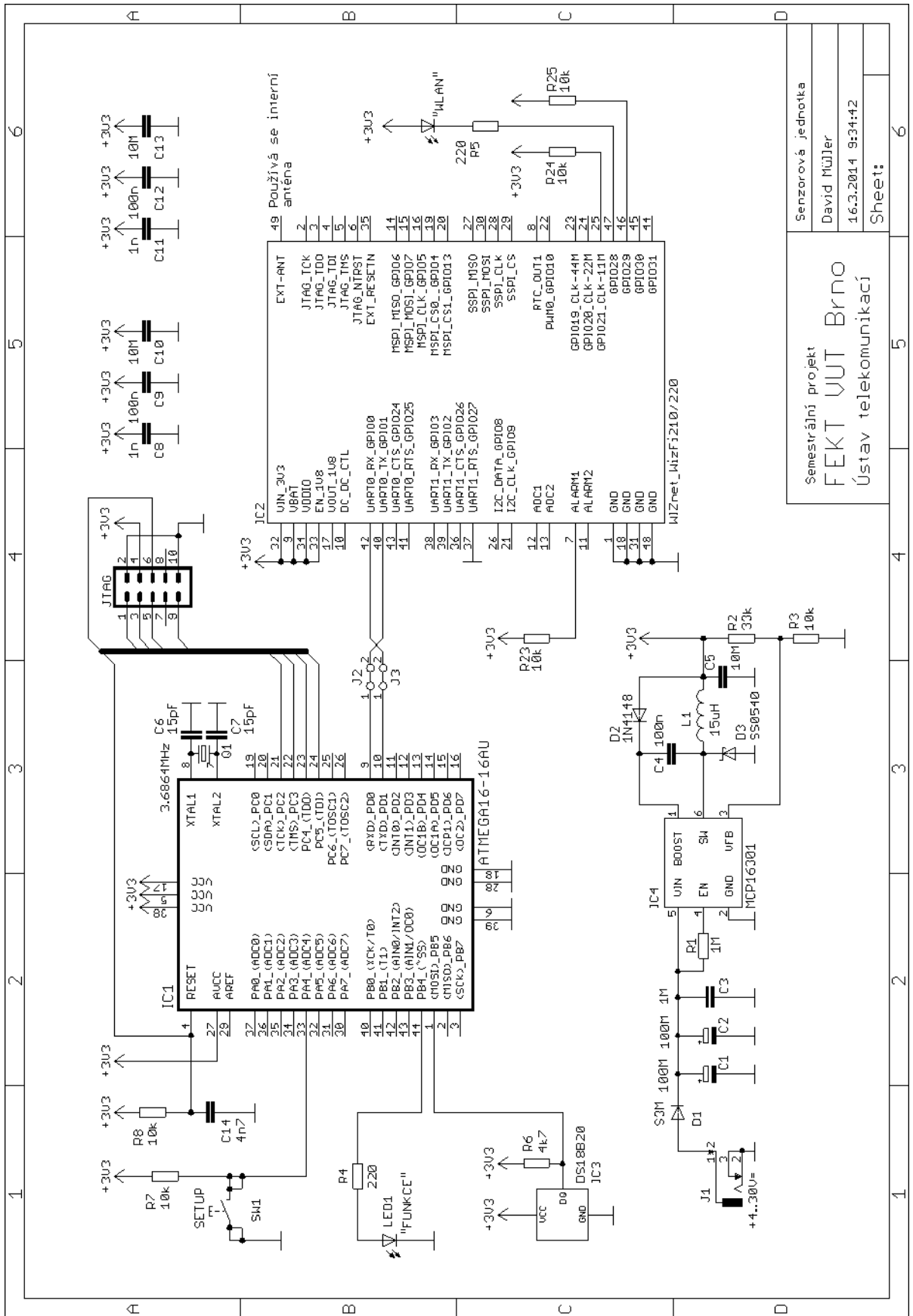
Namísto osazení dalšího samostatného zdroje, se omezíme na odbočku pro napájení displeje ještě před navrženým měničem, jak to ukazuje schéma na obr. 3.6. Pro omezení rušení z větve displeje a současně proti přepólování oddělíme obě větve diodami. Vstupní napětí u jednotky displeje tedy nesmí překročit předepsanou hodnotu, kterou jsme stanovili na 12 V při výpočtu (3.4) (časté výstupní napětí síťových adaptérů).



Obr. 3.6: Blok napájení jednotky zobrazovače

3.3 Schémata zapojení

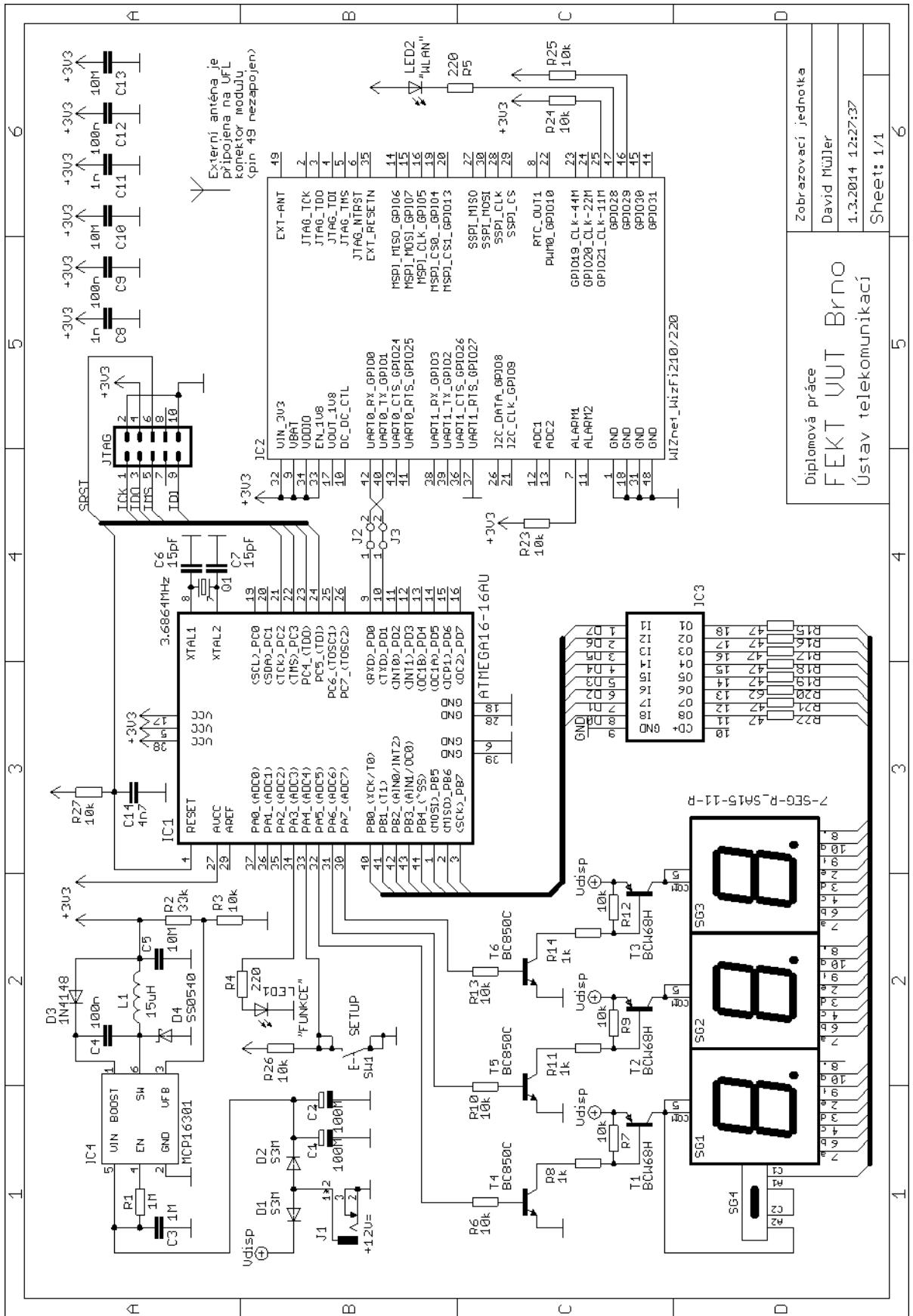
Úplná obvodová schémata v konečných verzích jsou uvedena na obr. 3.7 a 3.8.



Obr. 3.7: Schéma jednotky snímače

Semestrální projekt
FEKT ÚT Brno
 Ústav telekomunikací

Senzorová jednotka
 David Müller
 16.3.2014 9:34:42
 Sheet: 6



Zobrazovací jednotka
 David Müller
 1.3.2014 12:27:37
 Sheet: 1/1

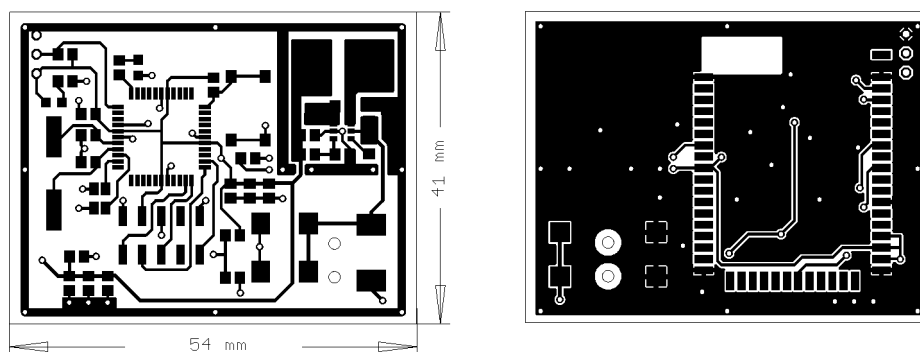
Obr. 3.8: Schéma jednotky zobrazovače

3.4 Desky plošných spojů – DPS

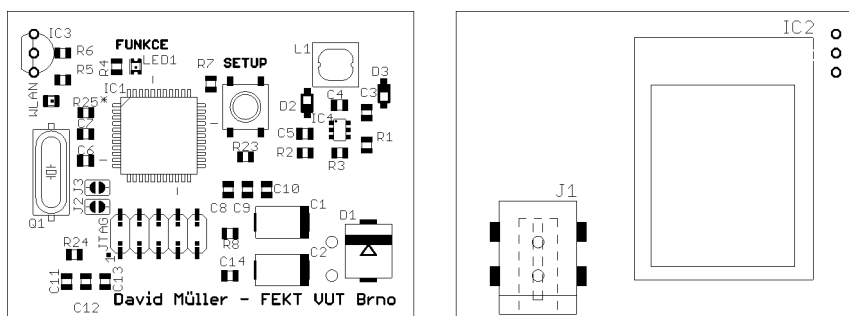
DPS jsou navrženy jako dvouvrstvé se součástkami v SMD provedení, mimo vlastní teplotní snímač, který bude osazen ve vývodovém pouzdře, aby mohl být snadno nahrazen případným prodlužovacím vedením. Spodní strana spojů je určena převážně pro rozvod zemního potenciálu. Z prostorových důvodů je na ni v jednotce snímače umístěn také WLAN modul. Spoje jsou provedeny v šířce 0,3 mm s výjimkou bloku napájecího měniče, kde je obrazec inspirován doporučením výrobce regulátoru uvedeným ve zdroji [23]. Rozvod napájení i jeho blokování je provedeno ve dvou větvích samostatně pro WLAN modul a samostatně pro řídicí mikrokontrolér s teplotním snímačem.

Pouzdra diskretních součástek jsou s ohledem na ruční osazování navrženy ve velikosti minimálně 0805. Pro maximální kompatibilitu s běžnými síťovými adaptéry je napájecí konektor navržen jako souosá vidlice 2/6,3 mm. Tlačítko je v provedení miniaturního mikrospínače přímo na DPS, stejně jako i miniaturní signalizační LED, které slouží pouze pro servisní účely (poruchová diagnostika) – viz. kapitola 3.1.4.

Výsledný návrh DPS je v měřítku 1:1 na obr. 3.9.

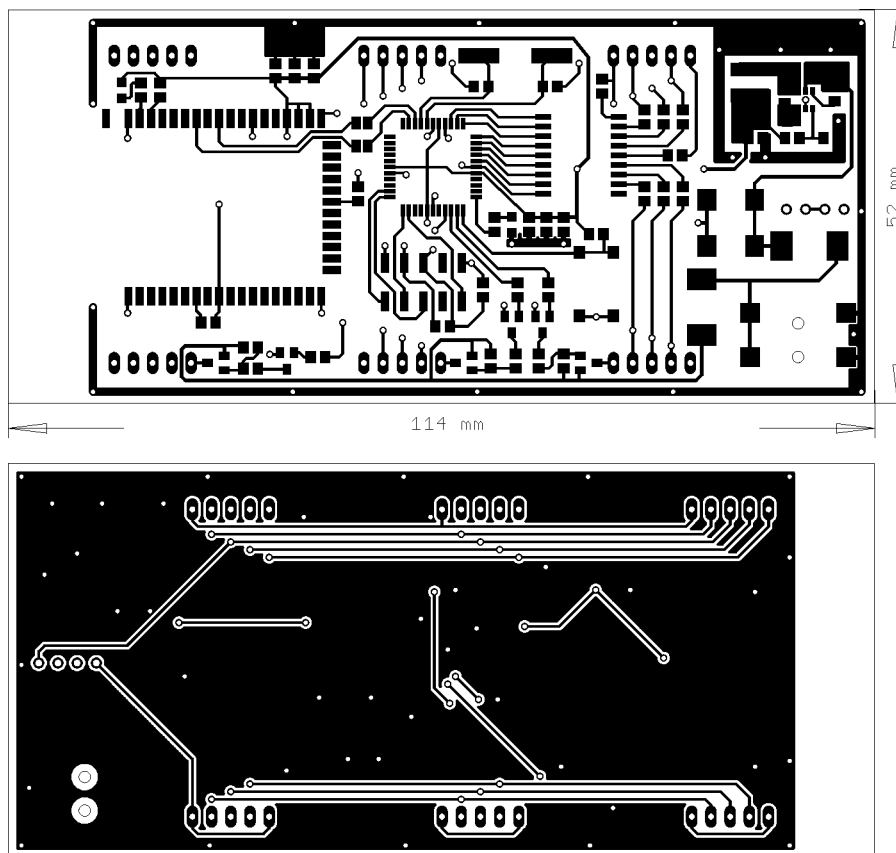


Obr. 3.9: Návrh desky plošných spojů jednotky snímače

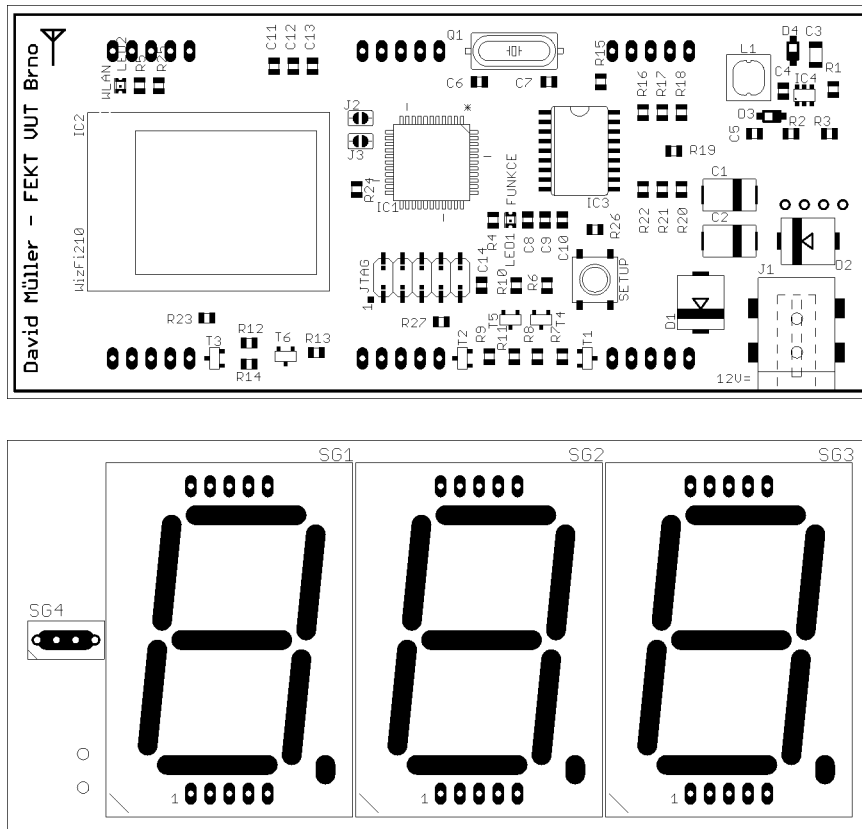


Obr. 3.10: Osazovací plánec jednotky snímače

Výsledný návrh DPS je na obrázku 3.11 a osazovací plánek na obrázku 3.12.



Obr. 3.11: Návrh desky plošných spojů jednotky zobrazovače



Obr. 3.12: Osazovací plánec jednotky zobrazovače

3.4.1 Výroba DPS

Výroba DPS byla objednána u firmy Pragoboard jako POOL Servis⁴ na základě podkladů exportovaných z návrhového systému Eagle. Data je nutné připravit do samostatných soborů pro osvit a pro vrtání podle jednotlivých technologických vrstev:

- spoje na horní straně (top),
- spoje na spodní straně (bottom),
- nepájivá maska pro horní stranu (top),
- nepájivá maska pro spodní stranu (bottom),
- potisk pouze pro horní stranu (top)⁵,
- obrys desky,
- prokovené vrtání,

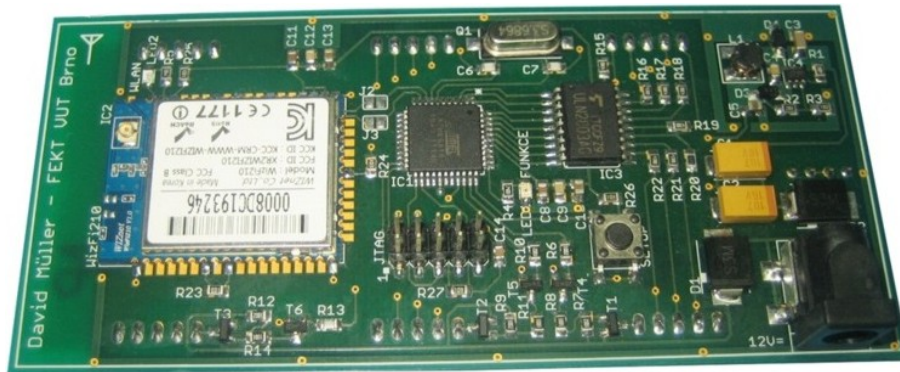
⁴POOL Servis je obchodní označení firmy Pragoboard pro režim výroby prototypů, který je cenově zvýhodněn, ale má omezenou volbou některých výrobních parametrů.

⁵Oboustranný potisk není v základní ceně režimu prototypů podporován

- neprokožené vrtání.

3.4.2 Osazení DPS

Desky byly navrženy pro ruční osazení, které proběhlo podle osazovacích plánek uvedených na obr. 3.10 a 3.12. Na obr. 3.13 je osazená deska jednotky displeje, další fotografie jsou uvedeny v příloze A.



Obr. 3.13: Osazená deska jednotky displeje

3.4.3 Testy a základní oživení

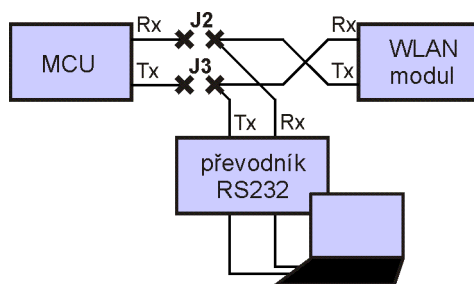
Testování obrazce plošných spojů probíhá už v rámci jejich výroby, v průběhu osazování součástek byla ověřena funkce napájecího bloku a na osazených deskách bylo ověřeno napětí ve vybraných bodech a také celkový proudový odběr u obou jednotek. Výsledky testů odpovídaly předpokládaným hodnotám a technickým specifikacím použitých komponent.

Samostatně byla vyzkoušena komunikace s WLAN modulem pomocí AT příkazů zasílaných z aplikace na PC přes převodník MAX3232 s připojením na testovací piny J2 a J3. Testovací zapojení je patrné z obrázku 3.14. V rámci několika testů byl ověřen:

Úplné oživení bude možné až po naprogramování řídicího mikrokontroléru.

3.4.4 Úpravy v zapojení

Při ožívování hardwarových jednotek byla odhalena chyba v zapojení LED, která má signalizovat asociaci WLAN modulu. Signalizační dioda v jednotce snímače i v jednotce zobrazovače byla v původním (semestrálním) projektu zapojena obráceně (přepólována a současně připojena k obrácené polaritě napájecího napětí),

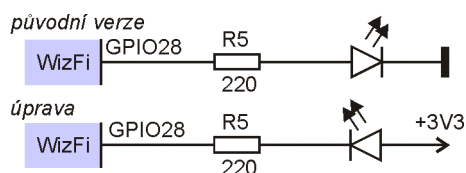


Obr. 3.14: Testování komunikace s WLAN modulem

než je zakresleno v doporučeném zapojení výrobce uvedeném v [19]. Tím byla její funkce negována – při asociaci zhasla. Tento způsob signalizace je ovšem zmatečný, protože nesvítící LED by v tomto případě mohla znamenat plnou funkci, stejně jako např. poruchu napájení WLAN modulu.

Softwarová úprava není možná, protože LED je řízena přímo vnitřním programem WLAN modulu, proto byly provedeny změny v zapojení a upraveny návrhy plošných spojů. U obou již vyrobených prototypů se našlo náhradní řešení v posunutí LED na takovou pozici, aby bylo její zapojení správné a přitom se využily plošky stávajícího obrazce DPS, bez nutnosti provádět drátová propojení nebo jiné zásahy.

Schémata i návrhy plošných spojů v této práci jsou již uvedena ve své upravené verzi.



Obr. 3.15: Oprava zapojení LED WLAN

4 FIRMWARE

V této kapitole popíšeme firmware¹ – programové vybavení řídicích mikrokontrolérů obou jednotek. Pro knihovny, metody i proměnné byla dána přednost anglickým názvům, před zkomolením českých slov bez diakritiky.

Protože kompletní zdrojové kódy jsou uvedeny v příloze C této práce, bude v práci uvedeno jen několik malých ukázek.

4.1 Knihovna pro WLAN modul – **wizfi.c**

Klíčovým společným úkolem firmware pro oba druhy vyvíjených jednotek bude komunikace s WLAN modulem. Jedná se o posílání AT příkazů², kterými bude řízena síťová komunikace a dále o speciální escape sekvence, které uvozují vysílaná a přijímaná data. V době vývoje nebyla dostupná knihovna výrobce WLAN modulu, přesto že na ni vedl odkaz z jeho oficiálních stránek [25]. Protože výrobce nereagoval ani na email, byla v rámci této práce knihovna vytvořena.

Snahou bylo vyvinout programový modul, který bude bez úprav použitelný v obou typech jednotek a případně i v jiném zařízení. Cílem je tedy znovupoužitelný kód, který má jasně definováno rozhraní a skrývá své interní proměnné a metody. Vazba na metody zpracovávající přijatá data je pomocí ukazatelů, které jsou definovány pomocí argumentů při zřizování komunikačního kanálu.

Přestože si knihovna klade za cíl být univerzální, nejsou v ní v současné verzi implementovány některé funkce WLAN modulu, které nebyly v projektu využity (např. uspání modulu, již překonané zabezpečení typu WEP apod.)

Klíčovou částí knihovny je tabulka `connTab[16]` (struktura je patrná z výpisu 4.1), ve které jsou evidovány existující komunikační kanály a která je přímo vázána na podobnou interní tabulku WLAN modulu pomocí indexu `CID`³.

¹*Firmware* je zažité označení programu pro mikrokontroléry nebo obecně vestavěné systémy, které použijeme také v této práci pro rozlišení od programu pro PC.

²AT příkazy byly vyvinuty firmou Hayes původně pro komunikaci mezi počítačem a telefonním modemem. Jedná se o krátké textové řetězce začínající vždy dvojicí znaků AT. Postupně se začaly využívat pro různá další telekomunikační zařízení a tím rozšiřovat o nové příkazy, které ovšem nemusí být mezi zařízeními různých výrobců vzájemně kompatibilní.

³Označení CID je převzato z dokumentace k WLAN modulu [19], jedná se identifikátor soketu v rozsahu 0..f. Každý otevřený lokální port, stejně jako každé příchozí spojení (vzdálený port) dostává svůj identifikátor CID.

Výpis 4.1: Definice struktury tabulky `connTab`

```

1 typedef struct
2 {
3     executor_t executor;           // metoda pro zpracování příchozích dat
4     ipAdd_t ip;                   //
5     uint8_t ttd;                 // čas do nuceného odpojení
6 } conn_t;

```

Následuje konkrétní příklad obsazení tabulky `connTab` jednotky snímače v okamžiku, kdy jsou připojeni 2 klienti – aplikace Setup (CID=3) a jednotka zobrazovače s dotazem na data (CID=4):

index (CID)	executor	ip	ttd
0	0x0ba4	0.0.0.0	0
1	0x0b78	0.0.0.0	0
2	0x0000	192.168.1.255	0
3	0x0ba4	192.168.1.103	17
4	0x0b78	192.168.1.22	30
5..f	0x0000	0.0.0.0	0

Řádky s indexem 0 a 1 zastupují TCP servery čekající na připojení pro konfiguraci a data (adresa 0x0ba4 ukazuje do programové paměti na metodu `setupExecute` a adresa 0x0b78 na metodu `dataExecute`). Řádek s indexem 2 zastupuje UDP sender pro všesměrové vysílání dat teploty. Řádky s indexem 3 a 4 zastupují právě připojené klienty, jak již bylo uvedeno.

4.1.1 Průběh připojení klienta

Příchozí spojení od klienta vytváří nejdříve záznam ve vnitřní tabulce WLAN modulu. WLAN modul o tom informuje na svém rozhraní notifikační zprávou např.: `[CONNECT 1 4 192.168.1.22 49370]`, která znamená, že klient na adrese 192.168.1.22 a svém portu 49370 dostal CID=4 na základě otevřeného portu CID=1. Mikrokontrolér jednotky podle této zprávy vytvoří klientský záznam na řádek s indexem 4 ve své tabulce `connTab`, kam také zkopíruje adresu příslušné obsluhy podle řádku s indexem 1, kde je evidován naslouchající port (serverový záznam). Dále je nastavena inicializační hodnota ttd (čítač času do automatického odpojení) a doplněna ip adresa klienta.

Podobně i na straně klienta je vytvářen záznam do tabulky `connTab`, v tomto případě není adresa obsluhy kopírována ze serverového záznamu, ale je vkládána přímo při vytváření spojení v metodě `wzf_openTCPClient`.

Každá komunikace prodlužuje dobu ttd na původní inicializační hodnotu, zatímco čítač volaný prostřednictvím metody `wzf_tick` tuto hodnotu automaticky snižuje. Pokud hodnota klesne až na 0, je spojení ukončeno. Toto automatické odstranění opuštěných spojení, které bylo doplněno během ladění firmware, se ukázalo jako velice praktické řešení, které zabraňuje nekontrolovatelnému nárůstu tabulky v případě poruch komunikace.

4.1.2 Přenos dat

Na svém komunikačním rozhraní poskytuje WLAN modul přijímaná data podobně jako dříve uvedené notifikační zprávy nebo odpovědi na zasílané AT příkazy. Data přicházející z jednotlivých existujících spojení jsou v okolním toku oddělena escape sekvencemi a opatřena identifikátorem ke kterému spojení patří. Interní metoda `receive()` má na starost třídění příchozího toku z WLAN modulu a také volání příslušných obsluh, až jsou data kompletně přijata.

Podobně při vysílání dat je sestavena sekvence tak, aby WLAN modul mohl data správně identifikovat a odeslat je do správného spojení. K přípravě odesílaných dat je v knihovně definováno několik metod podle toho, kde se zdrojová data nachází. Pro ilustraci použití některých metod si v následujícím výpisu uvedeme část kódu, kdy je v jednotce snímače sestavena a odeslána odpověď na dotaz `MEAS?` (formát byl popsán v kapitole 2.2.2), který byl jednotce odeslán z aplikace konfigurační aplikace.

Výpis 4.2: Sestavení odpovědi na dotaz `MEAS?`

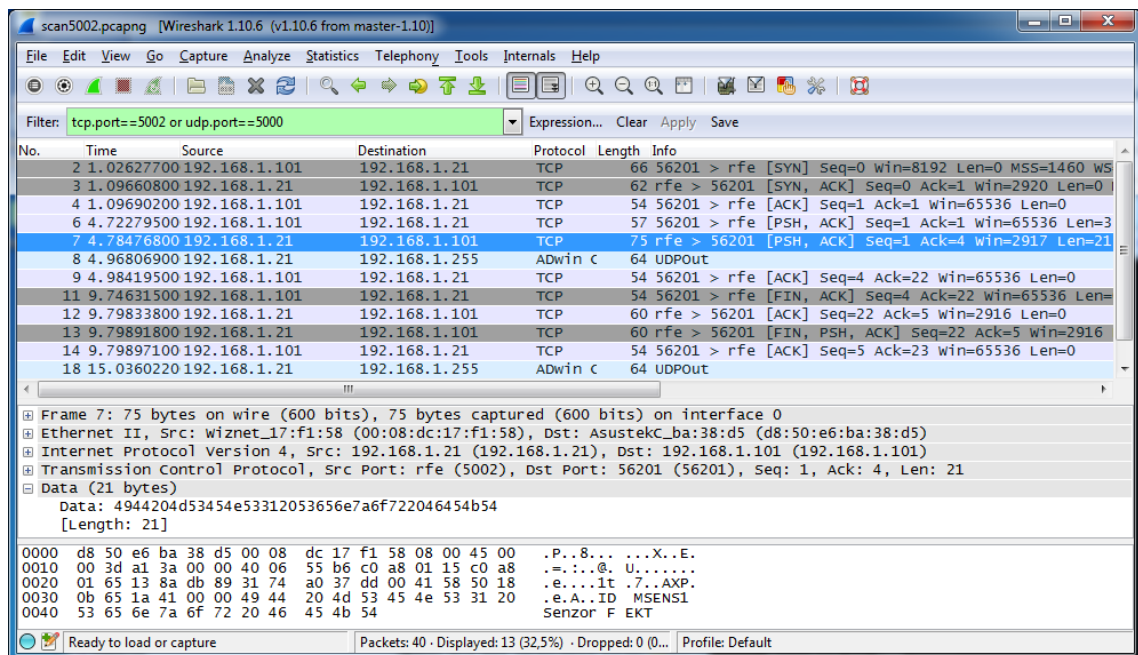
```
1   wzf_sendOpen(cid);           // zahájení vkládání dat s identifikací spojení
2   wzf_sendPushText_P(fmt_MEAS, 4); // vložení textu z paměti programu
3   wzf_sendPushUInt(eeprom_read_byte(&measInterval_EE));
4                                   // vložení čísla z paměti EEPROM
5   wzf_sendPushIp_EE(&bcIp_EE);   // vložení IP adresy z paměti EEPROM
6   wzf_sendPushUInt(eeprom_read_byte(&bcInterval_EE));
7                                   // vložení čísla z paměti EEPROM
8   wzf_sendDo();               // konec vkládání dat, start vysílání
```

Řídící mikrokontrolér sestaví pro WLAN modul zprávu s použitím escape sekvencí do tvaru např.: `<ESC>S2MEAS 10 192.168.1.255 30<ESC>E`

V uvedeném příkladu bylo pro zprávu (odpověď) použito existujícího spojení (CID=2), ze kterého přišel dotaz. V případě, že spojení nebude nadále využíváno, je po 30 sec. ze strany jednotky uzavřeno AT příkazem `AT+NCLDSE=2` odeslaném na UART rozhraní WLAN modulu, který provede uzavření spojení a odpoví potvrzovací zprávou `[OK]`. Pokud by předtím bylo spojení ukončeno řádným způsobem ze strany aplikace, byla od WLAN modulu přijata notifikační zpráva ve tvaru

[DISCONNECT 2]. V obou případech bude shodně metodami knihovny provedeno zneplatnění záznamu v tabulce `connTab` na řádku s indexem 2.

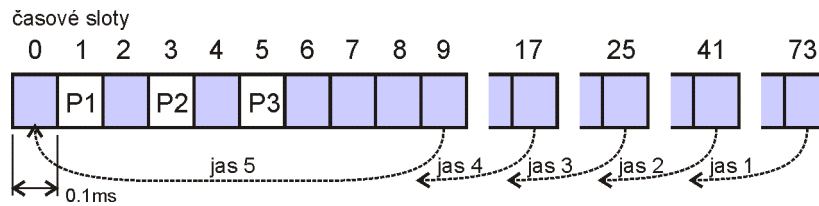
Na obr. 4.1 je obrazovka z programu Wireshark – viz. kapitola 6.2, která zachycuje komunikaci aplikace Setup (192.168.1.101) s jednotkou snímače (192.168.1.21). Řádky č. 2, 3 a 4 ukazují navázání spojení (třícestný handshake), na řádku 6 je odeslán dotaz na identifikaci a na zvýrazněném řádku 7 je odpověď, která je zobrazena detailně. Průběžně lze sledovat také vysílání UDP broadcastu (řádky 8 a 18) z jednotky snímače.



Obr. 4.1: Komunikace jednotku a aplikací Setup

4.2 Knihovna pro displej – `led_disp.c`

Knihovna pro ovládání displeje je postavena podobně jako knihovna pro WLAN modul tzn. nezávislý a vícenásobně využitelný programový modul. Hlavním úkolem je multiplexní řízení segmentového displeje podle doporučení výrobce [26], které se odehrává v metodě `disp_tick` volané z přerušeni časovače každých 100 μ s. Prakticky se jedná o nastavení pinů, které ovládají společné anody a pinů, které řídí proud jednotlivými segmenty. V poli `dispOut[3]` je uložena informace o požadovaném nastavení segmentů na jednotlivých pozicích. Na obrázku 4.2 je znázorněna aktivace jednotlivých pozic displeje (P1, P2, P3).



Obr. 4.2: Průběh multiplexování displeje

Jednotlivé pozice jsou aktivní vždy ve stejných slotech (1, 3 a 5) a délka slotu zůstává konstantní ($100\ \mu\text{s}$), regulace jasu tedy spočívá v celkovém počtu slotů, které se opakují – tato hodnota je vypočtena v metodě `disp_brightness`:

Výpis 4.3: Nastavení jasu

```

1 void disp_brightness(uint8_t brightness)
2 {
3     if (!brightness)
4     {
5         // vypnutí zobrazování (použito při ladění, aby při break nedošlo k poškození
6             displeje)
7         loop = 0;
8         return;
9     }
10    if (brightness < 5)
11        loop = 10 + (1<<(7-brightness));
12    else
13        loop = 10;

```

Dalším úkolem je překódování znaků na kombinace segmentů, které se děje pomocí tabulky `charset[]` uložené v paměti programu. Protože budeme potřebovat pouze omezený počet znaků, není aplikován ASCII kód, ale požadovaná číslice je přímo indexem do tabulky (kód znaku `0` je 0 atd.). Mimo číslice jsou v tabulce znaků uloženy ještě symboly některých písmen. Vlastní zobrazení je provedeno voláním obecné metody `disp_print` nebo přímo metody `disp_10`, která jako argument očekává teplotu v deci jednotkách.

4.3 Knihovny pro komunikaci s teplotním senzorem

Komunikace s teplotním senzorem DS18B20 se odehrává po sběrnici one-wire. Obsluhu této komunikace řeší knihovna `ds18x20.c` Martina Thomase, která je dále závislá na knihovnách `onewire.c` a `crc8.c` dalších autorů⁴.

⁴Uvedené knihovny jsou vystaveny na internetu k volnému použití, např. na adrese http://siwawi.bauing.uni-kl.de/avr_projects/tempsensor/index.html

Knihovna obsahuje i metodu, která poskytuje teplotu v jednotce °decic, kterou bude výhodné použít, jak bylo zmíněno v kapitole 2.2.1. V programu jednotky snímače jsou využity následující metody:

metoda	použití
<code>DS18X20_start_meas</code>	pro zahájení měření
<code>DS18X20_conversion_in_progress</code>	pro ověření, jestli je měření ukončeno
<code>DS18X20_read_decicelsius_single</code>	pro načtení naměřené hodnoty
<code>DS18X20_find_sensor</code>	pro detekci teplotního senzoru při inicializaci

Knihovna `ds18x20.c` podporuje také měření teploty při připojení více senzorů na společnou sběrnici a práci s teplotními alarmy, tyto funkce však nejsou ve stávající verzi firmware využity.

4.4 Hlavní program jednotek

Programy obou typů jednotek budou pracovat podobným způsobem, proto je popíšeme společně, s upozorněním na případné odlišnosti.

4.4.1 Inicializace

Po nastavení vstupně-výstupních portů a načtení nastavení z EEPROM je povoleno přerušení a na základě stavu tlačítka je provedeno buď přihlášení do existující WLAN podle definovaných parametrů, nebo (tlačítko stisknuto) se provede zřízení vlastního AP (SSID=„ModuleSetup“), který bude čekat na adrese 192.168.1.1 připojení konfigurační aplikace. Tento stav bude také jedinou možností, jak navázat komunikaci s jednotkou v případě, že síťové nastavení v EEPROM nebylo definováno nebo je neplatné. Vstup do nastavovacího módu je signalizován přerušením svitu oranžové LED, která jinak během inicializace svítí trvale a vložím bliknutí v délce 250 ms.

Při inicializaci je u jednotky zobrazovače navíc na displeji signalizován její průběh symbolem písmene E⁵ a číslem kroku takto:

⁵Písmeno E bylo zvoleno proto, že se při delší nebo opakované signalizaci jedná o chybu, která znemožňuje dokončit inicializaci řádným způsobem.

displej	význam
<code>E 0</code>	stabilizace WLAN modulu po zapnutí nebo sw restartu
<code>E 1</code>	úvodní nastavení WLAN modulu pomocí AT příkazů
<code>E 2</code>	asociace WLAN modulu nebo vystavení vlastního AP

Po dokončení inicializační fáze zhasne oranžová LED a nezávisle na tom se rozsvítí zelená LED řízená přímo WLAN modulem, která signalizuje jeho asociaci. V případě jednotky zobrazovače nastavené do ModuleSetup módu je displej nastaven do testovacího stavu `-88.8` při kterém svítí všechny⁶ segmenty displeje.

4.4.2 Hlavní smyčka

Chování jednotek v běžném provozu řídí hlavní smyčka, která provádí především následující činnosti:

- volání `wzf_exec` které zpracovává data a notifikace přicházející z WLAN modulu
- volání `startMeas`, `getMeas` a `dataSend` pro měření teploty a její všesměrové vysílání (tyká se pouze jednotky snímače)
- volání `wzf_openTCPClient` pro aktivní získání teploty a `current.age++` pro stárnutí teploty (tyká se pouze jednotky zobrazovače).

Příchozí data jsou pak zpracovávána v obslužných metodách `dataExecute` a `setupExecute`, které jsou volány z `wzf_exec` na základě escape sekvencí přijatých od WLAN modulu.

4.4.3 Zobrazování teploty

Tato kapitola se týká pouze jednotky zobrazovače.

Teplota je zobrazena na displeji pomocí metod z knihovny `led_disp`, jak bylo popsáno v kapitole 4.2.

Na displeji je běžně zobrazena vždy poslední přijatá teplota ve formátu s jedním desetinným místem `12.3`, případně doplněná znaménkem minus. V případě, že je absolutní hodnota vyšší než `99.9`, je zobrazení přepnuto do formátu `100` (bez zobrazení desetiny). V závislosti na parametru `unit_EE` je před zobrazením proveden přepočítání na °F. Obecný vztah převodu (1.1) byl upraven pro jednotky °decC a °decF pro kladné teploty do tvaru (4.1):

⁶Desetinná tečka za první číslicí nesvítí, protože není zapojena, její kanál je využit pro napájení znaménka mínus, jak je uvedeno v kapitole 3.2.3.

$$T_{\text{deci}F} = \frac{18T_{\text{deci}C} + 3195}{10} \quad (4.1)$$

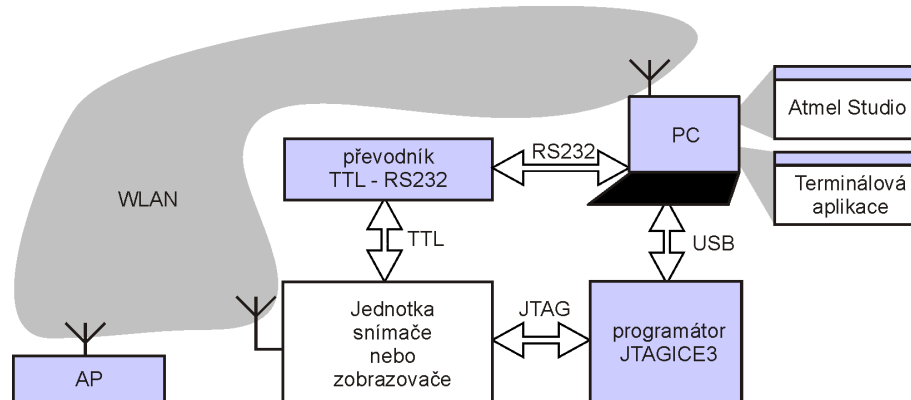
a pro teploty záporné do tvaru:

$$T_{\text{deci}F} = \frac{18T_{\text{deci}C} + 3205}{10} \quad (4.2)$$

Uvedený tvar navíc zahrnuje i potřebné zaokrouhlení, protože po převodu může vznikat platná číslice i na místě setin °F, tj. desetín °deciF. Žádná indikace v jakých jednotkách je teplota zobrazena není implementována, rozumí se, že konkrétní displej bude zobrazovat teplotu obvyklým a tedy trvale stejným způsobem.

Jednotka zobrazovače má v konfiguraci také parametr `maxAge_EE`, který udává maximální povolené stáří teploty v minutách, které lze nastavit v rozsahu od minuty až do cca 45 dnů. Lze tak eliminovat zobrazení neplatné teploty, pokud je tedy teplota starší než hodnota uvedeného parametru, není zobrazena (na displeji svítí pouze desetinná tečka jako signalizace provozního stavu .).

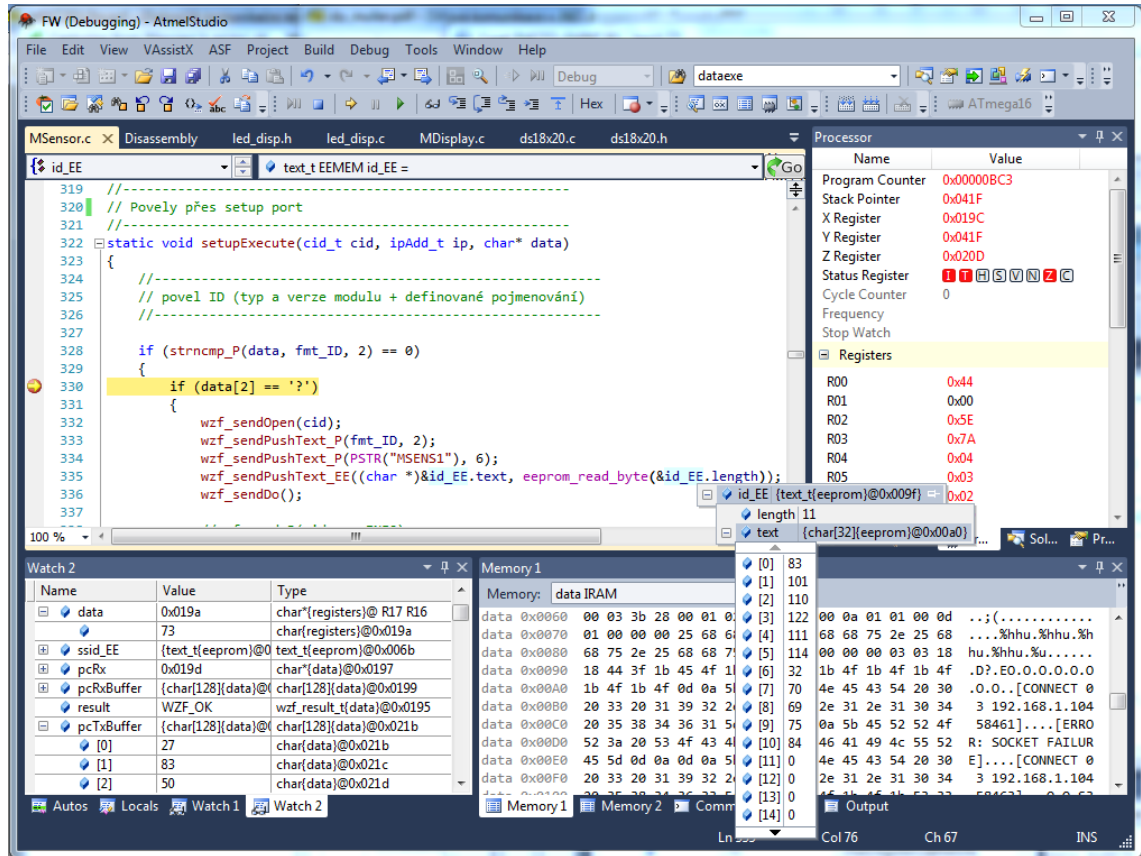
4.5 Ladění firmware



Obr. 4.3:

Obrázek 4.3 zachycuje typické blokové schéma při ladění programového vybavení jednotek. Jako velice výhodná se ukázala možnost zasahovat do komunikace mezi WLAN modulem a řídicím procesorem pomocí testovacích pinů, jak bylo popsáno v kapitole 3.4.3. Další významnou roli sehrálo debugovací rozhraní JTAG, díky kterému bylo možné využít např. krokování programu. V zastaveném programu je tak možné zjišťovat obsahy proměnných, registrů procesoru i libovolných adres v pamětech FLASH, RAM i EEPROM a dokonce je modifikovat. Snadno tak lze okamžitě

simulovat různé stavy vyvíjeného zařízení celý proces vývoje významně urychlit. Pro ilustraci je na obr. 4.4 uvedena obrazovka z vývojového prostředí Atmel Studio – viz. kapitola 6.2 zachycená v průběhu ladění firmware jednotky snímače.



Obr. 4.4: Ukázka obrazovky aplikace Atmel Studio při debugování

Při ladění komunikace byly využity programy Hercules Setup Utility a Wireshark (programy budou popsány v kapitole 6.2). Kopie obrazovky 4.1 zachycuje průběh komunikace s jednotkou snímače zobrazený v aplikaci Wireshark.

Při všech typech testů se konečné verze programů obou jednotek ukázaly jako funkční a stabilní. Zkoušena byla běžná datová a konfigurační komunikace, ale také výpadky spojení způsobené různými příčinami a schopnost jednotek obnovit komunikaci. Výsledné zaplnění programové i datové paměti se u obou jednotek pohybuje kolem 70 %, to potvrdilo původní odhady a optimální výběr typu procesoru.

5 SOFTWARE

V následující kapitole uvedeme hlavní stavební kameny, na kterých je postavena aplikace Setup. Přičemž hlavní knihovny `ModuleDataLib` a `CommLib` jsou navrženy tak, aby mohly být později využity i v jiné aplikaci, která má s jednotkami komunikovat – např. softwarový displej, jak bude popsáno v kapitole 6.1.

5.1 Knihovna `ModuleDataLib`

Knihovna `ModuleDataLib` si klade za cíl vytvořit aplikačně nezávislou vrstvu pro komunikaci s hardwarovými jednotkami. Obsahuje básovou třídu `ModuleBase` a z ní odvozené třídy `ModuleSensor` a `ModuleDisplay`, které jsou softwarovým obrazem jednotek snímače a zobrazovače. Dále obsahuje básovou třídu `DataBase` a odvozené třídy, které zprostředkovávají komunikaci pomocí jednotlivých povelů (`DataNet` pro povel `NET` apod.). Úplný přehled povelů byl uveden v kapitole 2.2.1.

V diagramu tříd 5.1 jsou zobrazeny vztahy mezi těmito třídami a dále vazby na prvky uživatelského rozhraní, které jsou popsány v kapitole 5.3.

5.2 Knihovna `CommLib`

Knihovna `CommLib` obsahuje třídy `TcpClientComm` a `UdpListenerComm`.

Třída `TcpClientComm` je obalem systémové třídy `TcpClient` a zjednodušuje její použití pro potřeby konfigurační i datové komunikace (navazování spojení, odesílání příkazů jednotkám a příjmu odpovědí). Zatímco třída `UdpListenerComm` je připravena pro případnou aplikaci softwarového displeje a je potomkem systémové třídy `UdpClient`.

Hlavní metodu třídy `TcpClientComm` je `SendReceive`, která odesílá příkaz směrem k jednotce a vrací obdrženou odpověď.

Na diagramu 5.2 jsou patrné vzájemné závislosti mezi jednotlivými knihovna a aplikací Setup. Jak vypadá průběh vlastní komunikace je vidět na sekvenčním diagramu 5.4.

5.3 Aplikace `Setup`

Aplikace `Setup` slouží pro konfiguraci hardwarových jednotek. Mimo to je schopna zobrazovat data z jednotky snímače a mazat uložené záznamy s maximální a mini-

mální teplotou.

Cílovou jednotku lze připojit jednoduše zadáním její IP adresy, aplikace se pokusí s ní navázat spojení a zjistit typ jednotky. Podle typu jednotky je k ní pak přiřazeno příslušné uživatelské rozhraní, tj. odpovídající sestava instancí tříd odvozených z `CtrlPanel`, kterou popíšeme v kapitole 5.3.1.

K aplikaci může být připojeno více jednotek současně, každá jednotce odpovídá uzel v `TreeView` a především `TabControl`, jehož obsahem je charakteristická sestava `TabPage`s na kterých jsou pak umístěny instance tříd odvozených z `CtrlPanel`.

Hlavním navigačním prvkem aplikace je instance `TreeView`, který ve svých větvích *Snímače* a *Zobrazovače* obsahuje uzly všech připojených jednotek daného typu. Pro přehlednost je uzel označen uživatelsky volitelným názvem jednotky, pevným identifikátorem hardware a IP adresou. Označením (kliknutím) na vybraný uzel se zobrazí instance `TabControl` se sestavou panelů, které odpovídají typu jednotky. Vazba uzlu `TreeView` na `TabControl` a stejně tak vazba `TabControl` na instanci `ModuleBase` jsou uskutečněny pomocí reference uložené ve volně použitelné vlastnosti `Tag`.

Hlavní menu aplikace obsahuje v položce *Jednotka* všechny možné operace se zvolenou jednotkou a stejná nabídka je k dispozici jako kontextové menu u uzlu v `TreeView`.

Stavový řádek zobrazuje v klidovém stavu jméno jednotky shodně jako v `TreeView` a během komunikace její stav, případně neúspěšný výsledek.

5.3.1 Třída `CtrlPanel`

Třída `CtrlPanel` je odvozena ze systémové třídy `UserControl` a je bázovou třídou jednotlivých ovládacích panelů.

Třídy odvozené z `CtrlPanel` představují kontejnery pro sestavu ovládacích prvků, které jsou svázány s příslušným potomkem `DataBase` a tím s konkrétním konfiguračním příkazem nebo povolením pro čtení dat. Na obr. 5.3 je pro ilustraci zobrazen vzhled jedné z komponent uživatelského rozhraní, jedná se o instanci `CtrlPanelSrc` pro nastavení zdroje dat u jednotky zobrazovače.

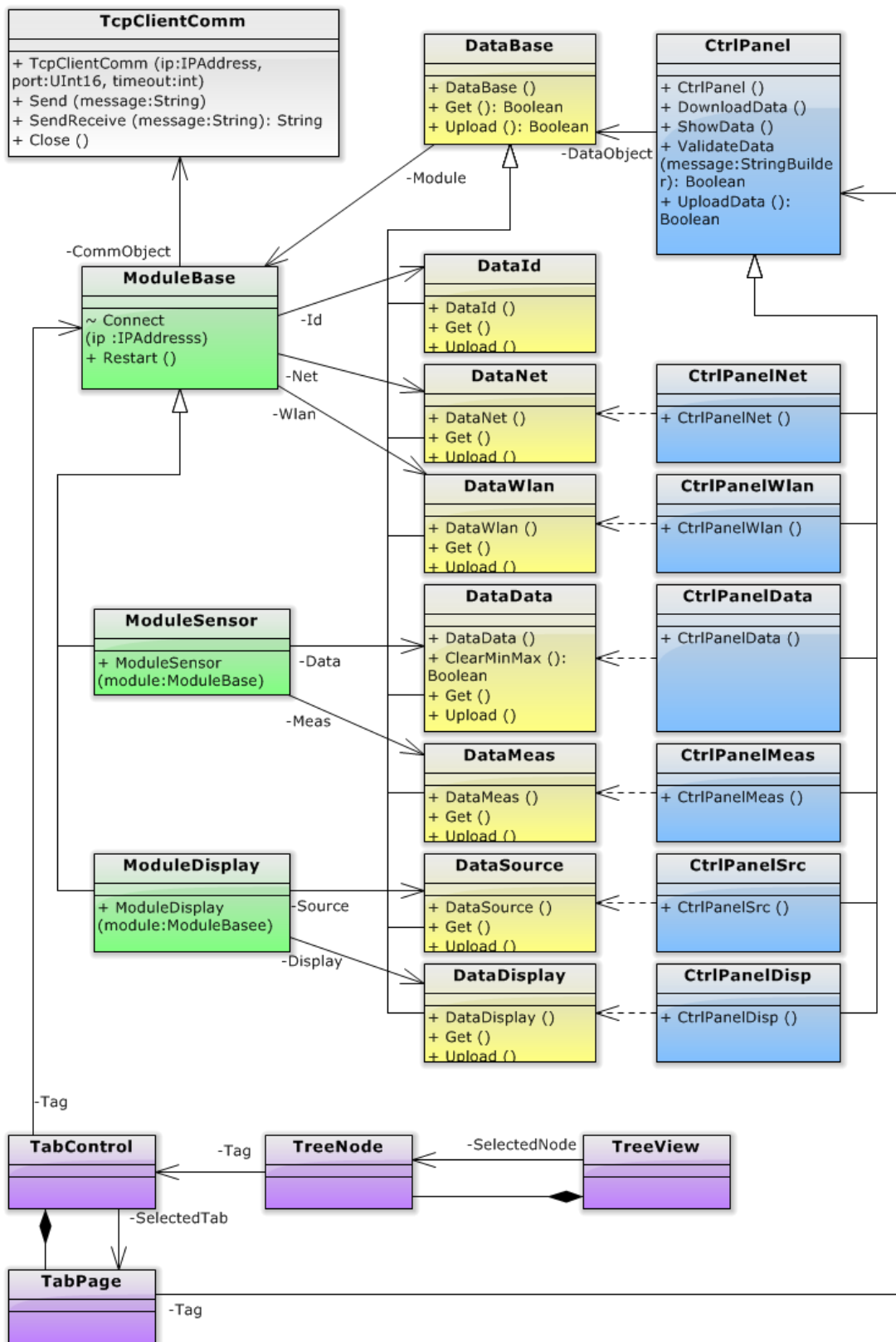
Všechny typy panelů dědí tlačítka `Nastavit` a `Aktualizovat`. Aktualizace prvků každého panelu je provedena automaticky po jeho prvním zobrazení, nicméně tlačítkem `Aktualizovat` lze vynutit znovunačtení z jednotky, prostřednictvím metody `DownloadData` je volána metoda `Download` příslušné třídy odvozené z `DataBase`. Tlačítko `Nastavit` volá validační metodu a následně prostřednictvím `UploadData` metodu

Upload příslušné třídy odvozené z **DataBase**.

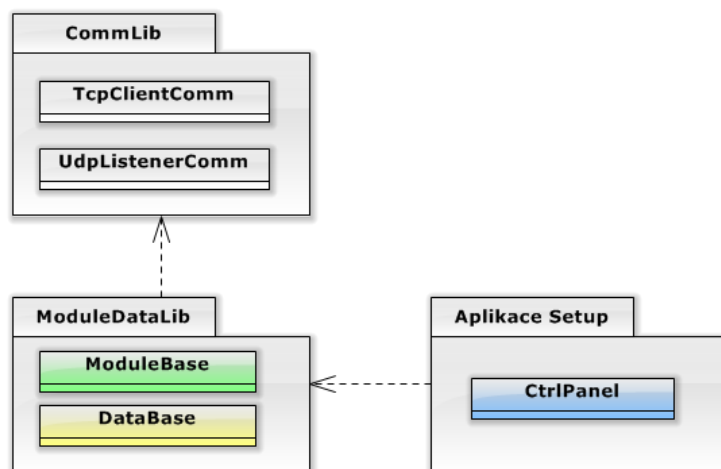
5.3.2 Průběh komunikace s jednotkou

Pro lepší znázornění průběhu komunikace mezi aplikací Setup a zvolenou jednotkou je na sekvenčním diagramu 5.4 naznačen její detailní průběh.

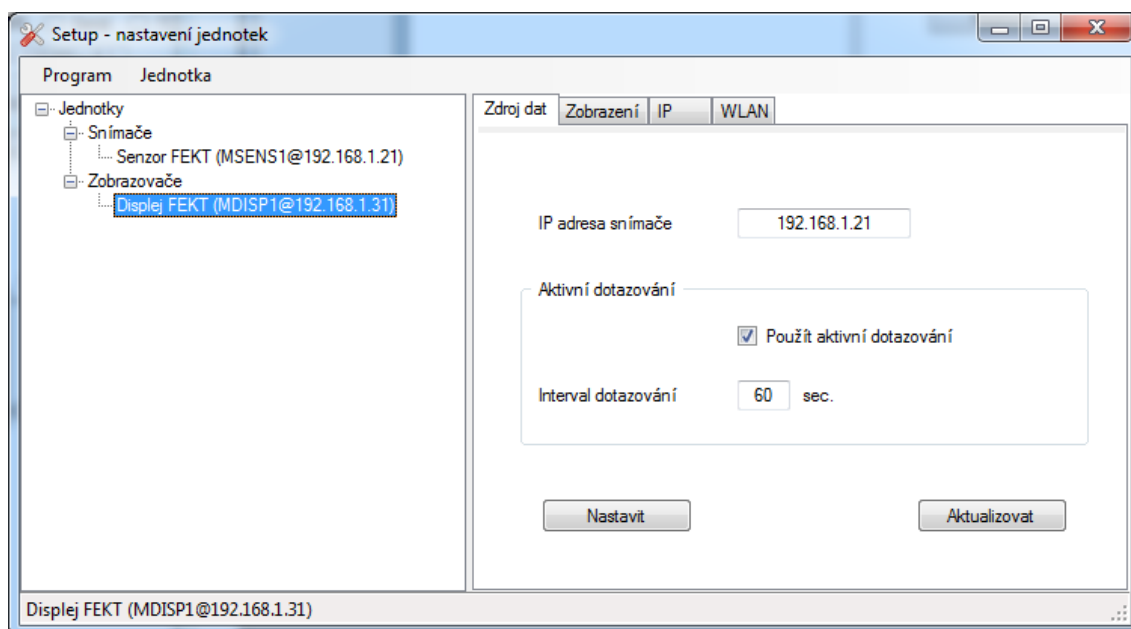
Pro ilustraci byl zvolen případ s poruchou komunikace, kdy je potřeba přenést směrem k jednotce dvě nastavení, přičemž jednotka nejdříve nereaguje (TCP spojení je akceptováno, ale příkaz není zpracován). Opakovaný pokus o odeslání prvního příkazu je nejdříve v režiji instance **TcpClientComm**, která zruší a znovu založí TCP spojení, ale protože v naznačeném případě je tento pokus také neúspěšný, je spojení zrušeno a vrací se k uživateli dotaz typu „Retry/Cancel“. Uživatel požaduje opakování a následující (třetí) pokus už končí úspěchem. TCP spojení zůstává sestaveno a následuje další komunikace (přenos druhého příkazu), který je úspěšný a po něm je překročen čas 30 sec., kdy klient (aplikace Setup) s jednotkou nekomunikuje, to je důvod proč je probíhající spojení nyní ze strany serveru (příslušná hardwarová jednotka) uvolněno.



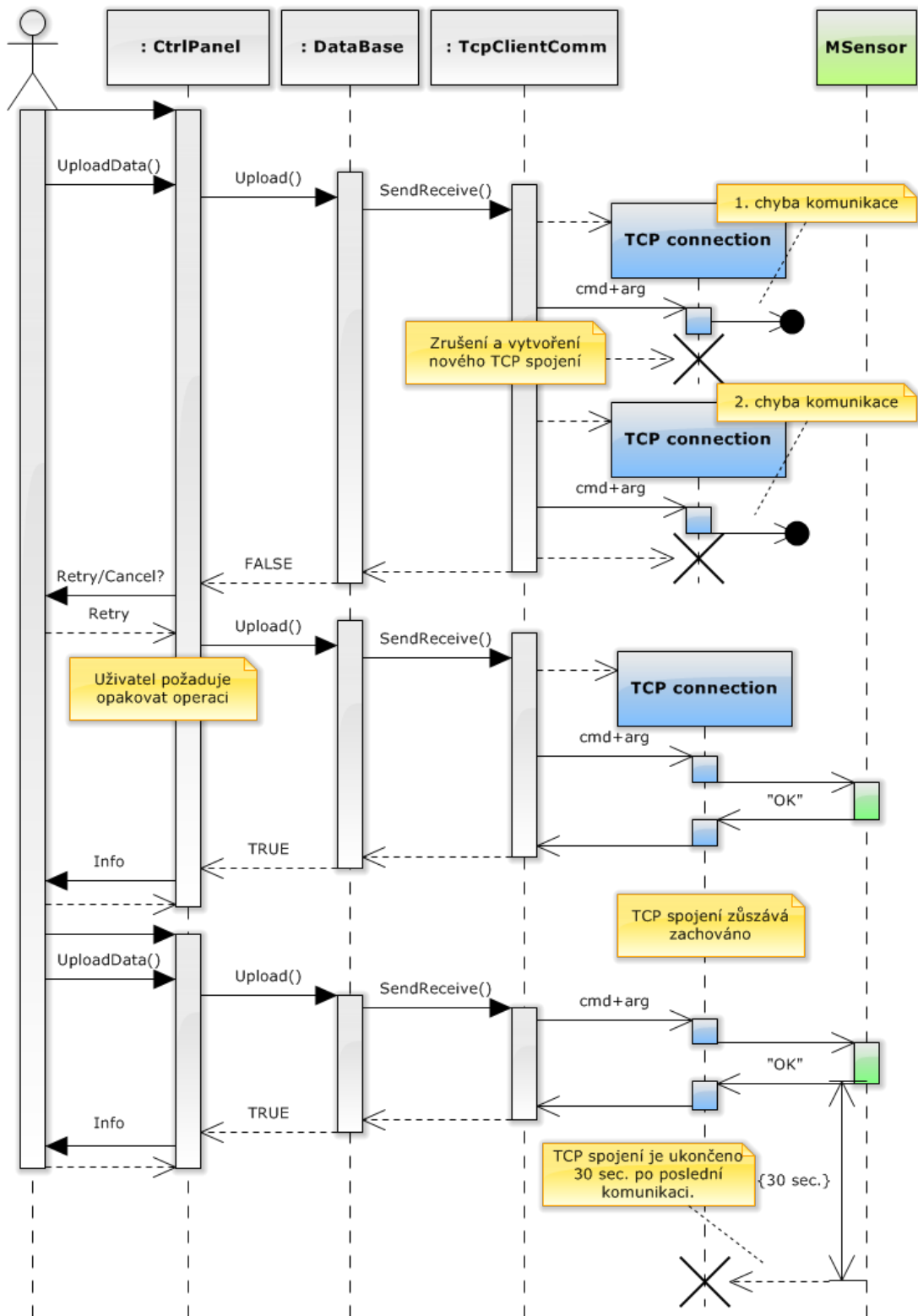
Obr. 5.1: Diagram tříd aplikace Setup



Obr. 5.2: Vzájemné závislosti na úrovni knihoven



Obr. 5.3: Nastavení zdroje dat



Obr. 5.4: Průběh komunikace s jednotkou

6 ZÁVĚR

Po úvodní části, kde proběhlo seznámení s teoretickými základy, ze kterých projekt vychází, bylo postupně navrženo řešení zadaného úkolu. Nejdříve z pohledu architektury a komunikace a následně konkrétním návrhem hardwaru a po té i firmware jednotek snímače a zobrazovače. Dále byla navržena konfigurační aplikace a průběžně bylo testováno praktické použití všech komponent systému i jejich vzájemná spolupráce. Úkol definovaný v zadání práce se podařilo splnit.

6.1 Možná rozšíření

V následujícím přehledu je uvedeno několik z možných rozšíření systému, které nevyžadují žádné změny existujícího hardwaru.

- **Softwarový displej**

Jedná se zobrazovač teploty jako aplikaci pro osobní počítač, případně tablet nebo jiné zařízení. Její funkce i možnosti konfigurace budou prakticky totožné s navrženou jednotkou zobrazovače. Realizovatelnost bude snadná vzhledem k hotovým knihovnám `CommLib` a `ModuleDataLib` vyvinutými pro konfigurační aplikaci.

- **Autorizace pro přenos konfigurace**

Použití konfiguračních povelů není nijak chráněno proti neoprávněným zásahům, v rozšíření bude ke konfiguračním příkazům vyžadována autorizace.

- **Podpora přenosu teploty z více čidel**

Protože rozhraní one-wire i použitá knihovna podporuje připojení více teplotních senzorů na společné vedení, bude v rozšíření přidána podpora i do přenosového protokolu. V konfiguraci zobrazovací jednotky by se mimo IP adresy volil také index teploměru.

- **Podpora internetových meteo služeb**

Jednotka snímače bude odesílat data do zvolené meteorologické databáze a podobně jednotka displeje bude umožňovat zobrazovat data z tohoto zdroje¹.

¹Příklad momentálně největší veřejné meteorologické databáze najdeme na adrese <http://www.wunderground.com/weatherstation/about.asp>. Odtud lze získávat data nejenom o teplotě z několika desítek tisíc stanic po celém světě a po registraci lze také vlastní data jednoduchým způsobem do databáze vkládat.

6.2 Použité vývojové nástroje

Eagle

Schémata zapojení, stejně jako návrh plošného spoje, který je popsán v kapitole 3.4 byl proveden v aplikaci Eagle 6.5 edice Light. Jedná se o německý návrhový systém (CAD), jehož dlouhá tradice mu zajistila oblíbenost a značné rozšíření. Profesionální výstupy pro řízení výroby zajišťuje vestavěný CAM procesor. Edice Light je pro nekomerční účely zdarma, ale je omezena rozměrem návrhu desky 10 x 8 cm² a maximálně dvěma vrstvami spojů.

Atmel Studio

Firmware pro řídicí mikrokontroléry obou jednotek vznikl ve vývojovém nástroji Atmel Studio verze 6.1. Tato aplikace založená na platformě Visual Studio Isolated Shell³ je dodávána výrobcem mikrokontrolérů Atmel Corporation zdarma. Ve spojení s originálními programátory vytváří velmi výkonný nástroj pro vývoj a ladění.

Programátor JTAG ICE3

Jedná se o hardwarové zařízení – originální programátor a debugger mikrokontrolérů Atmel, který je použitelný pro rodiny AVR i ARM a podporuje připojení pomocí rozhraní JTAG, aWire, SPI i PDI.

Visual Studio

Aplikace pro nastavování hardwarových jednotek vznikla ve vývojovém prostředí Visual Studio verze 2012 v edici Professional od Microsoft Corporation. Při psaní zdrojových kódů k dispozici zvýrazňování syntaxe, pohotové IntelliSense a především propracované debugování. V rámci programu DreamSpark⁴ jsou všechny edice tohoto nástroje k dispozici zdarma.

²Prakticky se omezení vztahuje na rozměr pro rozmístění komponent, ale netýká se spojů, potisku apod., tzn. že skutečný rozměr desky může být i větší

³Na platformě Visual Studio Isolated Shell lze postavit vývojové nástroje, které mohou využít celou řadu připravených služeb i uživatelského rozhraní Visual Studia. To je výhodné také z pohledu uživatele, který se nemusí učit ovládat nový nástroj.

⁴Microsoft DreamSpark je program pro studenty, školy a vyučující, který umožňuje bezplatně získat a používat vývojové nástroje a další software této firmy.

Software Ideas Modeler

UML diagramy byly vytvořeny v aplikaci Software ideas modeler verze 6. Jedná se o modelovací nástroj českého autora, který podporuje velké množství diagramů, automatizované generování zdrojového kódu a v placené verzi také např. reverzní inženýring, tj. generování modelů zpětně ze zdrojových kódů. Při práci s programem došlo několikrát k indikaci chyby, ale beze ztráty neuložených změn projektu.

CorelDraw X3

Pro vytvoření ostatních schémat a obrázků byl použit grafické nástroj CorelDraw ve verzi X3 od Corel Corporation. Tento komplexní nástroj je určen pro vytváření a úpravy vektorové grafiky a podporuje export do různých grafických formátů. Jedná se o profesionální nástroj s řadou pokročilých funkcí.

Hercules Setup Utility

Hercules Setup Utility je terminálová aplikace, která pracuje jak na sériovém, tak i na Ethernet rozhraní, kde umí vystupovat v roli klienta i serveru. Při ladění bylo nejdříve využito sériové rozhraní pro monitorování a zásahy do komunikace mezi WLAN modulem a řídicím mikrokontrolérem a následně také rozhraní ethernet, na kterém byla simulována činnost jednotky snímače při ladění zobrazovače a opačně.

Wireshark

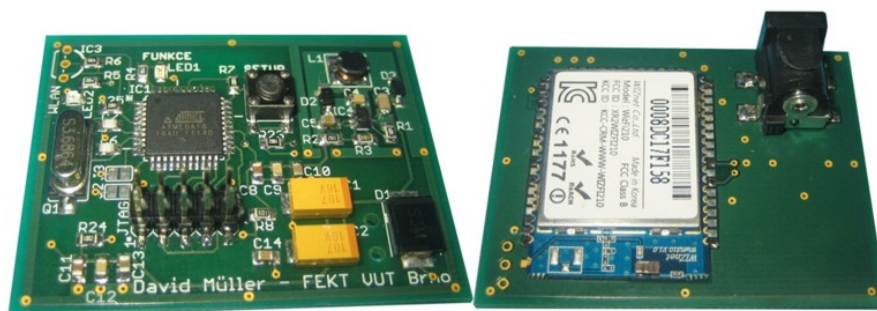
Wireshark je aplikace pro analýzu síťového provozu, která se uplatnila při ladění komunikace např. pro zachycení okamžiku rozpadu TCP spojení.

LITERATURA

- [1] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. *Fyzika (český překlad)*. Vutium, Brno 2005.
- [2] Wikipedie *Gabriel Fahrenheit* — *Wikipedie: Otevřená encyklopedie*. [online]. Poslední aktualizace 2013 [cit. 9. 11. 2013]. Dostupné z: <cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Gabriel_Fahrenheit&oldid=9856559>.
- [3] Wikipedie *Anders Celsius* — *Wikipedie: Otevřená encyklopedie*. [online]. Poslední aktualizace 2013 [cit. 9. 11. 2013]. Dostupné z: <cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Anders_Celsius&oldid=9839553>.
- [4] Knuuttila, T. *Nuclear magnetism and superconductivity in rhodium*. Low Temperature Laboratory, Espoo 2000.
- [5] Bejček, L. *Měření neelektrických veličin*. Skriptum VUT FEKT, Brno 2005.
- [6] Doleček, J. *Moderní učebnice elektroniky 2*. BEN, Praha 2005.
- [7] Musil, V., Boušek, J., Horák, M., Hégr, O. *Elektronické součástky*. Skriptum VUT FEKT, Brno 2007.
- [8] TEXAS INSTRUMENTS *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Texas Instruments, Dallas, Texas 2013.
- [9] SMARTEC *SMT16030 Digital Temperature Sensor*. Smartec B.V, Breda, The Netherlands 2005.
- [10] Kamal, R. *Microcontrollers: Architecture, Programming, Interfacing and System Design*. Pearson Education India, 2011. ISBN: 978-81-317-5990-5
- [11] Burda, K. *Návrh, správa a bezpečnost počítačových sítí*. Slajdy z přednášek, Brno 2013.
- [12] Hanus, S. *Radiové a mobilní komunikace*. Slajdy z přednášek, Brno 2010.
- [13] Novotný, V. *Architektura sítí*. Skriptum VUT FEKT, Brno 2002.
- [14] Prokopec, J. *Systémy mobilních komunikací*. Skriptum VUT FEKT, Brno 2012.
- [15] Jeřábek, J. *Pokročilé komunikační techniky*. Skriptum VUT FEKT, Brno 2013.
- [16] Vrba, R., Legát, P., Fajčík, L., Háze, J., Kuchta, R., Mikel, B., Skočdopole, L. *Digitální obvody a mikroprocesory*. Skriptum VUT FEKT, Brno 2011.

- [17] Křížek, M. *Zobrazovací grafická zařízení*. Učební text Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc 2009.
- [18] IANA *Service Name and Transport Protocol Port Number Registry [RFC6335]*. [online]. Poslední aktualizace 2014 [cit. 14. 3. 2014]. Dostupné z: <www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.txt>.
- [19] *WizFi210/220 User Manual*. WIZnet Co., Ltd. 2011.
- [20] Awtrey, D., Smith, K., Lissiuk, D. *1-Wire Design Guide*. Springbok Digitronics 2004.
- [21] DALLAS Semiconductor *1-Wire™ Digital Thermometer*. Dallas Semiconductor Corporation 1995.
- [22] *Microcontroller AVR ATmega16A*. Datasheet, Atmel Corporation 2009.
- [23] *High Voltage Input Integrated Switch Step-Down Regulator MCP16301*. Datasheet, Microchip Technology Inc. 2011.
- [24] *8Channel Darlington Sink Driver ULN2803AP*. Datasheet, TOSHIBA 1998.
- [25] WIZnet Co. *Oficiální stránky firmy WIZnet Co.* [online]. Poslední aktualizace 2013 [cit. 14. 3. 2014]. Dostupné z: <www.wiznettechnology.com>.
- [26] *38mm Single digit numeric displays*. Datasheet, Kingbright 2006.

A FOTOGRAFIE OSAZENÝCH DESEK



Obr. A.1: Osazená deska jednotky snímače



Obr. A.2: Osazená deska jednotky displeje

B SEZNAM SOUČÁSTEK

Jednotka snímače

označení	hodnota	pouzdro
C1	100M	SMC_D
C2	100M	SMC_D
C3	1M	C0805
C4	100n	C0805
C5	10M	C0805
C6	16pF	C0805
C7	16pF	C0805
C8	1n	C0805
C9	100n	C0805
C10	10M	C0805
C11	1n	C0805
C12	100n	C0805
C13	10M	C0805
C14	4n7	C0805
D1	S3M	SMC
D2	1N4148	SOD123
D3	SS0540	SOD123
IC1	ATMEGA16-16AU	QFP80P1200X1200X120-44N
IC2		WIZFI210/220
IC3	DS18B20	T092-
IC4	MCP16301	SOT23-6
J1	+4..30V=	C8118
J2		J_SMD
J3		J_SMD
JTAG		2X05_SMD
L1	15uH	DA42
LED1		CHIPLED_0805
LED2		CHIP-LED0805
Q1	3.6864MHz	HC49UP
R1	1M	R0805
R2	33k	R0805
R3	10k	R0805
R4	220	R0805
R5	220	R0805
R6	4k7	R0805
R7	10k	R0805

R8	10k	R0805
R23	10k	R0805
R24	10k	R0805
R25	10k	R0805
SW1	SETUP	TS6X6

Jednotka zobrazovače

označení	hodnota	pouzdro
C1	100M	SMC_D
C2	100M	SMC_D
C3	1M	C1206
C4	100n	C0805
C5	10M	C0805
C6	16pF	C0805
C7	16pF	C0805
C8	1n	C0805
C9	100n	C0805
C10	10M	C0805
C11	1n	C0805
C12	100n	C0805
C13	10M	C0805
C14	4n7	C0805
D1	S3M	SMC
D2	S3M	SMC
D3	1N4148	SOD123
D4	SS0540	SOD123
IC1	ATMEGA16-16AU	QFP80P1200X1200X120-44N
IC2	WizFi210	WIZFI210/220
IC3		S018W
IC4	MCP16301	S0T23-6
J1	+12V=	C8118
J2		J_SMD
J3		J_SMD
JTAG		2X05_SMD
L1	15uH	DA42
LED1		CHIPLD_0805
LED2		CHIPLD_0805
Q1	3.6864MHz	HC49UP
R1	1M	R0805
R2	33k	R0805

R3	10k	R0805
R4	220	R0805
R5	220	R0805
R6	10k	R0805
R7	10k	R0805
R8	1k	R0805
R9	10k	R0805
R10	10k	R0805
R11	1k	R0805
R12	10k	R0805
R13	10k	R0805
R14	1k	R0805
R15	47	R0805
R16	47	R0805
R17	47	R0805
R18	47	R0805
R19	47	R0805
R20	62	R0805
R21	47	R0805
R22	47	R0805
R23	10k	R0805
R24	10k	R0805
R25	10k	R0805
R26	10k	R0805
R27	10k	R0805
SG1		SA15-11
SG2		SA15-11
SG3	7-SEG-R_SA15-11-R	SA15-11
SG4	2LED-LIGHT-BAR	2LEDBAR
SW1	SETUP	TS6X6
T1	BCW68H	S0T23-BEC
T2	BCW68H	S0T23-BEC
T3	BCW68H	S0T23-BEC
T4	BC850C	S0T23-BEC
T5	BC850C	S0T23-BEC
T6	BC850C	S0T23-BEC

C OBSAH PŘILOŽENÉHO DVD

dp.pdf	elektronická verze diplomové práce
prezentace.pdf	prezentace diplomové práce
hardware/	schémata a návrhy plošných spojů
firmware/	zdrojové kódy programového vybavení obou jednotek
software/	zdrojové kódy konfigurační aplikace pro PC