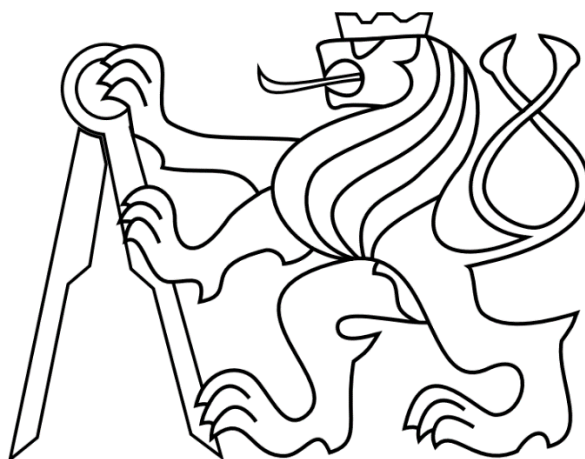


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**



Dominik Buben

WI-FI SENZOR TEPLoty

(Bakalářská práce)

Praha, 2016



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Dominik Buben**

Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Obor: **Senzory a přístrojová technika**

Název tématu česky: **WiFi senzor teploty**

Název tématu anglicky: **WiFi Temperature Sensor**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte zařízení umožňující měřit teplotu v běžných mezích pro měření vnitřní a vnější teploty prostředí, s rozlišením 0,2 °C.

Zařízení optimalizujte na napájení pomocí akumulátorové baterie, komunikace s PC bude pomocí WiFi rozhraní. Vytvořte základní architekturu programu pro záznam teploty z 10 čidel v nastavitelných intervalech.

Seznam odborné literatury:

- [1] Keith Mayes, Konstantinos Markantonakis: Secure Smart Embedded Devices, Platforms and applications. www.springer.com/computer/security+and.../978-1-4614-7914-7
- [2] Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. ČVUT, Praha 1996. 315 s. ISBN 80-01-01500-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Šimůnek

Datum zadání bakalářské práce: 14. listopadu 2014

Platnost zadání do¹: 31. srpna 2016



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

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 14. 11. 2014

¹ Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

Prohlášení

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

V Praze dne 16.5.2016

.....

Dominik Buben

WI-FI SENZOR TEPLoty

Bakalářská práce
Červen 2016

Úplná bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Dominik Buben

Název bakalářské práce: Wi-Fi senzor teploty

Pracoviště: Katedra měření

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Šimůnek

Rok obhajoby bakalářské práce: 2016

Počet stran: 46

Počet příloh: 2

Anotace (abstrakt)

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací zařízení pro měření teploty prostředí. Práce zahrnuje výběr a popis konkrétního hardwarového řešení společně s kompletním softwarovým řešením zařízení. Práce je rozdělena do dvou základních částí a to na teorii, ve které je rozebrán teoretický základ pro měření teploty a bezdrátovou komunikaci a na praktickou část, ve které je již konkrétní řešení Wi-Fi teplotního senzoru. Zařízení v zadaných intervalech odebírá hodnoty ze senzoru. Změřené hodnoty pomocí bezdrátové komunikace Wi-Fi posílá do uživatelské aplikace. V uživatelské aplikaci se data ukládají do paměti a následně zpracovávají. Grafické rozhraní obsahuje znázornění průběhu měření teploty.

Abstract

This thesis describes the design and implementation of a device for measuring temperature. Work involves the selection and description of a particular hardware solution together with a complete software solution devices. The work is divided into two parts, the theory, which discusses theoretical basis for temperature measurement and wireless communications, and the practical part, which has concrete solution for Wi-Fi temperature sensor. The equipment gather values at specified intervals from the sensor. The measured values are send by wireless communication to the user application. The user application store these data and then process them. The graphical interface contains a visualization of the temperature measurement.

Klíčová slova

Senzor, teplota, Wi-Fi, měření teploty, bezdrátová komunikace, čidla, mikroprocesor

Keywords

Sensor, temperature, Wi-Fi, temperature measurement, wireless communications, sensors, microprocessor

Obsah

Seznam použitých zkratké.....	5
Slovník pojmú.....	7
Poděkování.....	8
Úvod.....	9
1 Základní pojmy	10
1.1 Historie	10
1.2 Teplota	10
1.3 Teplo	10
1.4 Teplotní stupnice	10
1.5 Měření teploty	11
2 Senzory.....	12
2.1 Popis senzorú.....	12
2.1.1 Princip senzorú.....	12
2.2 Snímače teploty	12
2.2.1 Elektrické snímače teploty.....	13
2.2.1.1 Odporové kovové snímače teploty.....	13
2.2.1.2 Odporové polovodičové snímače teploty.....	14
2.2.1.3 Termoelektrické snímače teploty	14
2.2.2 Dilatační senzory teploty.....	16
2.2.3 Bezdotykové měření.....	17
3 Bezdrátová komunikace	18
3.1 Wi-Fi.....	18
3.1.1 Základní informace.....	18
3.1.2 Vývoj.....	18
3.1.3 Pásmo	19
3.1.4 Struktura.....	19
3.1.5 Zabezpečení.....	20
4 Mikroprocesory	23
4.1 Základní informace	23
4.1.1 Sběrnice.....	23
4.1.2 Přerušení.....	23
4.1.3 Instrukční sada	23
4.2 STMicroelectronics.....	24
4.2.1 Výběr mikroprocesoru pro Wi-Fi teplotní senzor.....	24
4.2.2 Popis.....	24
4.2.2.1 Jednotlivé série modulú STM32	25
4.2.2.2 Discovery kity	25
4.2.3 Moduly Nucleo	25
5 Realizace Wi-Fi teplotního senzoru teploty	26

5.1	Návrh měřicího systému – návrh algoritmu.....	26
5.1.1	<i>Algoritmus Wi-Fi teplotního senzoru</i>	26
5.1.2	<i>Algoritmus pro měření teploty</i>	27
5.1.3	<i>Algoritmus pro odesílání dat Wi-Fi modulem</i>	29
5.2	Softwarové řešení – popis.....	31
5.2.1	<i>X-CUBE</i>	31
5.2.2	<i>Softwarové knihovny</i>	32
5.2.3	<i>Nucleo IKS01A1</i>	32
5.2.4	<i>Nucleo IDW01M1</i>	32
5.3	Hardwarové řešení – jednotlivé konfigurace	33
5.3.1	<i>Nucleo L053R8</i>	33
5.3.2	<i>Nucleo IKS01A1</i>	34
5.3.3	<i>Nucleo IDW01M1</i>	35
5.3.4	<i>Pohotovostní doba senzoru</i>	37
6	Návrh aplikace pro měření teploty	38
6.1	Popis softwaru aplikace	38
6.1.1	<i>Navázání spojení se senzorem</i>	38
6.1.2	<i>Zpracování nastavených dat od uživatele</i>	38
6.1.3	<i>Přijímání dat ze senzoru</i>	38
6.1.4	<i>Zpracování naměřených dat</i>	38
6.2	Popis grafického rozhraní	38
7	Implementace měřicího systému – reálné využití	40
7.1	Datalogger pro časový sběr teplot	40
7.2	Měřicí zařízení teploty na nepřístupných místech	40
7.3	Měřicí zařízení pro kontrolu povolených teplot.....	40
7.4	Zařízení pro měření efektivity vytápění inteligentních budov	40
7.5	Zařízení pro zpracování teplot z připojených externích senzorů	40
	Závěr	41
	Seznam použitých zdrojů	42
	Seznam obrázků	44
	Seznam příloh	45

Seznam použitých zkratk

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
CPU	Central processing unit	Centrální procesorová jednotka
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	Elektricky mazatelná paměť
FCC	Federal Communications Commission	Federální komunikační komise
FLASH		Paměť, která nemůže být rozšířena
GSM	Global System for Mobile	Globální systém pro mobilní komunikaci
MAC	Media Access Control	Jedinečný identifikátor síťového zařízení
MEMS	Micro-Electro-Mechanical System	Integrace mechanických elementů, senzorů a akčních členů
NTC	Negative Temperatur Coefficient	Termistor se záporným teplotním koeficientem
ODP	Open data platform	Otevření datová platforma
PSK	Pre-Shared-Key	Sdílený tajný klíč
PTC	Positive Temperatur Coefficient	Termistor s kladným teplotním koeficientem
RAM	Random Acces Memory	Polovodičová paměť s přímým přístupem umožňující čtení i zápis
RISK	Reduced Instruction Set Computing	Architektura procesorů s redukovanou instrukční sadou
ROM	Read Only Memory	Paměť, která má svůj obsah definován z výroby a leze přepsat
SSID	Service Set Identiffier	Identifikátor bezdrátové sítě

UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	Další stupeň vývoje GSM sítí
WEP	Wired Equivalent Privacy	Zastaralé zabezpečení bezdrátových sítí
WPA	Wi-Fi Protected Access	Chráněný přístup k Wi-Fi

Slovník pojmů

Arduino – otevřená platforma s grafickým vývojovým prostředím

Algoritmus - postup nebo návod, který je definován pro vyřešení konkrétní úlohy

HTS221 - zařízení od firmy STM, které obsahuje obvody pro snímání teploty a vlhkosti okolí

Socket - softwarový objekt, který propojuje aplikaci se síťovým protokolem

ST-Link - debugovací programátor, díky kterému lze snadno nahrát naprogramovaný kód procesoru

Watch dog - část obvodu nebo programu určená k hlídání konkrétních dat. V případě obdržení neočekávaných dat indukuje mikroprocesoru chybový stav.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu panu Ing. Martinu Šimůnkovi za perfektní odbornou pomoc při realizaci této práce, za kontaktování firmy STMicroelectronics a také za neustálou podporu po celou dobu projektu. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Ondřeji Holému z firmy STMicroelectronics za pomoc při navrhování konkrétního řešení zařízení a odborné konzultace. Největší poděkování patří mé rodině, za neustálou podporu po celou dobu mého studia.

Úvod

Člověk již od pradávna dokázal rozlišit teplotu podle vnímání teplého a studené smyslového pocitu. Časem člověk přišel i na to, že se může díky této veličině měnit skupenství látek případně jiné fyzikální vlastnosti látek. Již ve starověku se používalo měření teploty pomocí roztažnosti kapalin. S objevením elektřiny se rozvíjela spousta odvětví, ve kterých se měření teploty využívalo. Díky metodám měření využívající závislosti elektrických veličin na teplotě dosahovalo měření daleko přesnějších výsledků. V dnešní době se při měření teploty používají principy založené na změně elektrických veličin, které jsou závislé na teplotě. Senzory teploty jsou v dnešní době součástí téměř každého elektrického zařízení. Běžně jsou integrované přímo v zařízení a měří vnitřní teplotu součástek nebo samotného zařízení. Problém však nastává v případě, že chceme měřit teplotu prostředí, kterou nebude ovlivňovat právě měřící zařízení. Čidlo musí být umístěno mimo zařízení tam, kde se výsledky měření nezkrslují vlivem teplot ze součástek nebo obvodů zařízení. Snaha je tedy zamezit vlivu obvodů senzoru na hodnotu teploty získané z čidla, změřenou hodnotu bez zkreslení přenést do mikroprocesoru a tam dále zpracovat. Další komplikace nastává v případě, že je potřeba měřit teplotu na těžko přístupných místech případně místech, kde není možno (díky narušení teploty daného prostředí) zařízení se senzory napájet pomocí klasických napájecích vodičů. V těchto případech je potřeba provést změření a odeslání naměřených hodnot bezdrátovou komunikací do počítače, kde jsou zpracována. Tento proces je spojen s návrhem dané komunikace společně s návrhem napájení pro bezdrátový chod zařízení. Stěžejní pro návrh bezdrátových senzorů je proto kapacita baterií, které zařízení napájejí. V první řadě je potřeba navrhnout jednotlivé hardwarové komponenty zařízení tak, aby byl výsledný odběr energie zařízení co nejmenší. Důraz se klade především na výběr úsporného procesoru, který má na starosti samotný odběr hodnoty teploty z čidla, ale také na procesor, který obstarává bezdrátovou komunikaci s dalším zařízením. Právě mikroprocesor ovládající bezdrátovou komunikaci, má největší odběr energie z toho důvodu, že přes anténu vysílá data a současně udržuje spojení. V případě, že je již navržena optimální hardwarová část zařízení můžeme spotřebu energie snížit také vhodným softwarovým řízením. Algoritmus by měl proto hlídat, jaké periferie zařízení v dané chvíli nevyužívá a v tuto chvíli snížit odběr energie z baterií uspáním periferie na určitý časový okamžik. Mikroprocesor může hardwarové periferie v případě potřeby kdykoliv probudit a okamžitě zapojit do procesu algoritmu.

1 Základní pojmy

1.1 Historie

Na začátku 17. století sestrojil Galileo Galilei teploměr, který měřil teplotu na základě objemové roztažnosti vzduchu. Teploměr byl vytvořen z tenké skleněné trubičky, která byla zakončená baňkou. Baňka byla ohřívána a teploměr vložil do nádoby, kde se nacházela obarvená voda. Chladnoucí vzduch se smršťoval a díky tlaku okolního vzduchu na hladinu vnikala voda do trubičky. Vychladnutím přejímala baňka teplotu okolního vzduchu a výška vodního sloupce v trubičce se měnila podle toho, jak se měnil objem vzduchu v baňce. Daleko přesnější byl rtuťový teploměr s první teplotní stupnicí německého fyzika Daniela G. Fahrenheita, který byl vyroben roku 1724. Od této doby probíhá neustálý vývoj nových teploměrů. Ve 20. století vznikají elektrické teploměry, které k měření používají převodníky teploty na elektrické veličiny neboli senzory. [1]

1.2 Teplota

Teplota značí tepelný stav hmoty. Představuje průměrnou kinetickou energii částic látky. Teplota je vlastnost předmětů a okolí, kterou člověk vnímá na základě studeného a teplého pocitu. Je to jedna z nejzásadnějších stavových veličin, která ovlivňuje téměř všechny stavy a procesy v přírodě. Při měření této veličiny je důležité použít přesný teploměr a zajistit správný odečet hodnot, a také je potřeba měřicí zařízení správně umístit. V technických vědách je teplota skalární intenzivní veličina, která je vhodná k popisu ustálených stavů makroskopických systémů. Teplota je základní fyzikální veličinou soustavy SI s jednotkou kelvin. K měření teploty se používají teploměry. V termice je teplota zásadní veličinou pro popis tepelných jevů. Svým významem zasahuje teplota do velkého spektra oborů. [2]

1.3 Teplo

Teplo je veličina, která se vztahuje ke konkrétnímu ději – tepelné výměně. Teplo je mírou změny vnitřní energie tělesa. Ke změně tepla dochází v případě, že se molekuly dané látky pohybují. Čím rychleji se molekuly pohybují, tím větší je teplo. Teplota je mírou, jak rychle se molekuly pohybují, zatímco teplo je souhrnná energie všech pohybujících se molekul. Měřením tepla se zabývá obor zvaný kalorimetrie. Jednotka tepla je shodná s jednotkami práce a energie. [2]

1.4 Teplotní stupnice

Základní jednotkou pro měření termodynamické teploty je v soustavě SI kelvin [K] kromě něj existují další stupnice, které používají různý výchozí bod a různé dělení na stupně. Nejnižší možnou teplotou je teplota absolutní nuly, ke které se lze libovolně přiblížit, ale nelze jí přímo dosáhnout. Absolutní nula je označení pro termodynamickou teplotu $T=0\text{K}$, tj. $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$. Vedle termodynamické teploty se používá ještě Celsiova teplota, vyjadřovaná ve stupních Celsia. Stupeň celsia je jednotka teploty, kterou v roce

1742 vytvořil švédský astronom Anders Celsius. Dnes je Celsiova stupnice (jako vedlejší jednotka soustavy SI) definována pomocí trojného bodu vody, kterému je přiřazena teplota $0,01^{\circ}\text{C}$ a tím, že absolutní velikost jednoho dílku teplotní stupnice (1°C) je rovna 1K. K měření teplot se používají teploměry založené na různých principech. [3]

1.5 Měření teploty

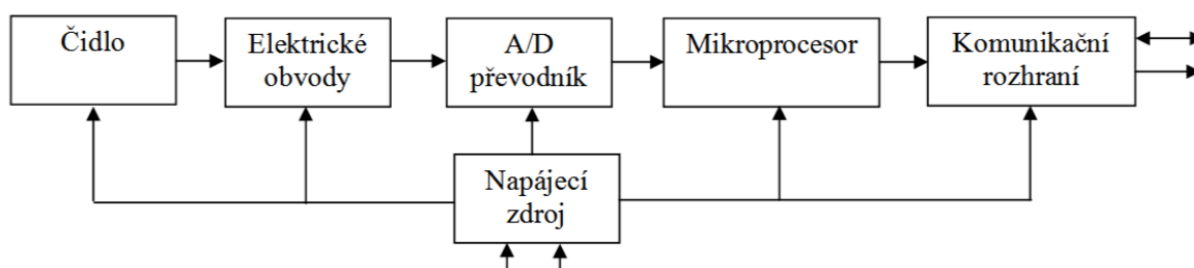
K měření teploty se využívá závislosti fyzikálních veličin na teplotě. Podle definovaného vztahu se mění buď objemová roztažnost látek, rozměry látek, případně elektrické veličiny. Tím docílíme převedení teploty na jinou fyzikální veličinu, která je snadno měřitelná. Pro měření vysokých teplot se využívá bezdotykové měření. Bezdotykové měření využívá principu zpracování vlastností elektromagnetických vln, která tělesa vyzařují. [4]

2 Senzory

2.1 Popis senzorů

Senzory jsou základním prvkem zařízení pro měření, snímání informací a dat u řídicích a informačních systémů. Patří mezi hlavní části zařízení, protože díky získaným informacím určují vlastnosti a činnost systému. Rozsáhlé požadavky informačních systémů na podsystemy měření a snímání dat způsobuje tlak na vývoj nových prototypů snímačů a tím i senzorů.

Základním prvkem senzoru je čidlo, kde se realizuje snímání fyzikální veličiny. Elektrické obvody slouží pro převedení veličiny na elektrickou měřitelnou veličinu. A/D převodník převede analogový signál na digitální, který zpracovává mikroprocesor. Komunikační rozhraní slouží v přesunu zpracované změřené hodnoty dále do zařízení. [5]



Obr. 1: Blokové schéma senzoru[4]

2.1.1 Princip senzorů

Senzory pracují podle různých fyzikálních nebo fyzikálně chemických, mechanických a dalších principů. Díky aplikování znalostí fyziky, elektroniky, chemie, mechaniky se vyvíjí stále nové principy měření. Čidlo zaznamená změnu teploty tím, že se změní vlastnosti materiálu samotného čidla dle použitého principu měření. [5]

2.2 Snímače teploty

Snímače teploty jsou zařízení sloužící k měření teploty. Většinou je princip snímače založen na tepelné roztažnosti jednotlivých látek, kdy je objem měrné látky závislý na její teplotě. Tyto teploměry se pak nazývají dilatační. V současné době však existují i další metody zjišťování hodnot teploty. V automatizaci se nejčastěji využívají teploměry založené na změně elektrických veličin. [6]

Základní rozdělení snímačů teploty

- 1) Snímače pro dotykové měření
 - Elektrické
 - Dilatační
 - Speciální
- 2) Snímače pro bezdotykové měření

- Tepelné
- Ultrazvukové
- Kvantové

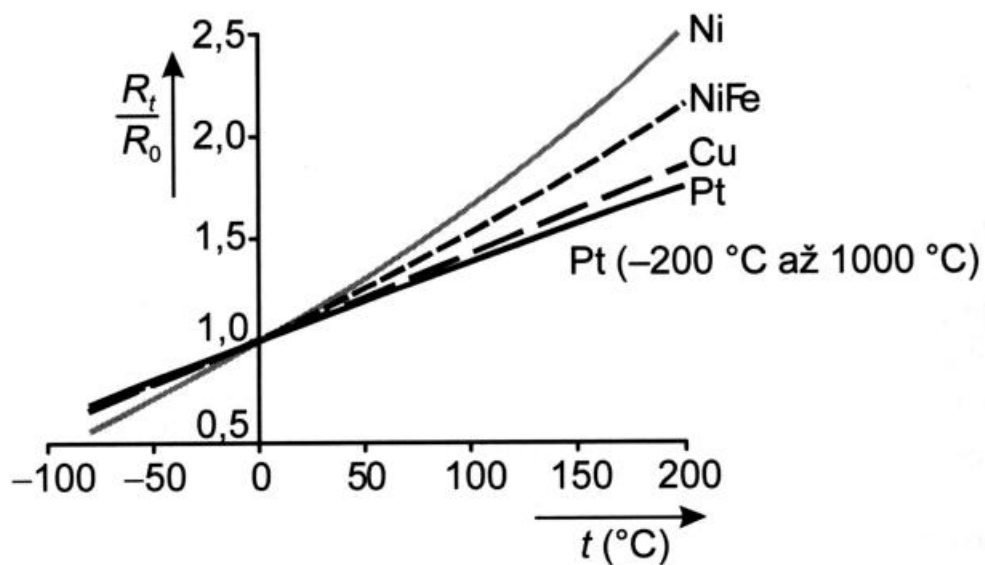
2.2.1 Elektrické snímače teploty

2.2.1.1 Odporové kovové snímače teploty

Principem odporových kovových snímačů teploty je teplotní závislost elektrického odporu kovů na teplotě. Elektrický odpor se s teplotou mění podle určitého vztahu $R_t = R_0(1 + \alpha)$ kde R_0 je odpor čidla při 0°C , tato linearizace se však dá použít jen pro rozsah 0°C - 100°C pro jiné teploty už není snadné určit teplotní součinitel odporu α . U odporových kovových senzorů teploty se měří vlastní odpor kovu, ze kterého je odporový článek vyroben. Mezi požadavky na materiál patří malá změna teplotního součinitele odporu s časem, kovy nesmí reagovat s materiály, ze kterých je teploměr vyroben. [7]

Nejrozšířenější kovové snímače teploty

- Platinový odporový snímač – teplotní rozsah
- Niklový odporový snímač
- Měděný odporový snímač



Obr. 2: Charakteristika Odporových senzorů[8]



Obr. 3: Odporový senzor [9]

2.2.1.2 Odporové polovodičové snímače teploty

Odporové polovodičové snímače teploty

- 1) Monokrystalické – bez PN přechodu
- 2) Monokrystalické – s PN přechodem
- 3) Termistory

Monokrystalické snímače teploty bez PN přechodu

Monokrystalické snímače teploty bez PN přechodu pracují na principu závislosti vlastního polovodiče na teplotě. Odporové snímače mají velkou časovou stálost.

Monokrystalické snímače teploty s PN přechodem

Monokrystalické snímače teploty s PN přechodem pracují na principu závislosti teploty na úbytku napětí PN přechodu. Při napájení diody ze zdroje proudu je závislost úbytku napětí na teplotě lineární.

Termistory

Termistory pracují na principu změny odporu se změnou teploty u kovových oxidů. Mají velkou přesnost a citlivost při měření v rozsahu -30°C až $+60^{\circ}\text{C}$. Termistory se dělí podle teplotního koeficientu. [7]

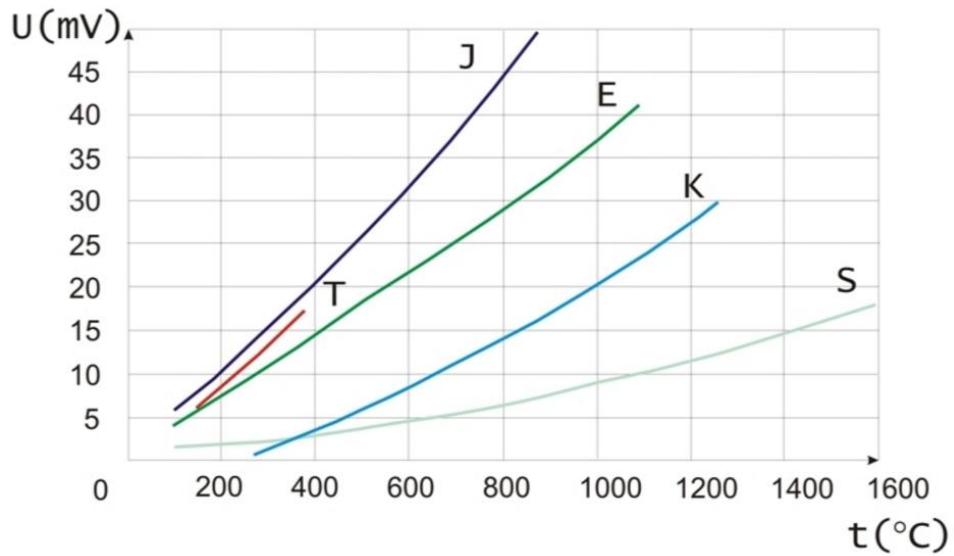
Termistory

- 1) Negastory - NTC
- 2) Pozistory - PTC

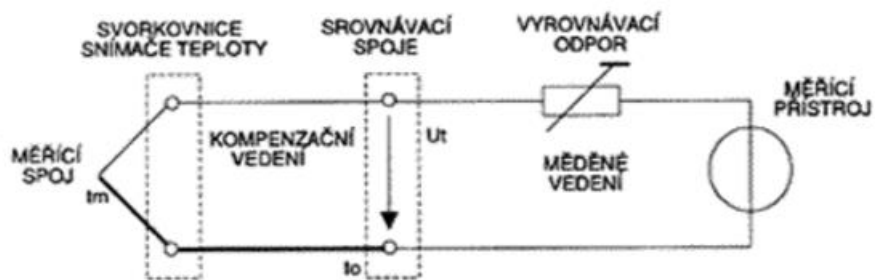
2.2.1.3 Termoelektrické snímače teploty

Základem termoelektrických snímačů teploty je termoelektrický článek, který je vytvořen dvěma vodiči nebo tyčemi z odlišných materiálů. V případě, že dojde ke spojení dvou vodičů (z různých kovů) v uzavřený obvod, začne protékat elektrický proud a vznikne termoelektrické napětí. Velikost

termoelektrického napětí je závislá na rozdílu teplot srovnávacího konce a měřícího konce, ale také na materiálu, ze kterých jsou vodiče vyrobeny. Články se označují barevně podle použitého materiálu při výrobě. [10]



Obr. 4: Teplotní závislost jednotlivých termočlánků[11]



Obr. 5: Schéma zapojení termočlánku[12]

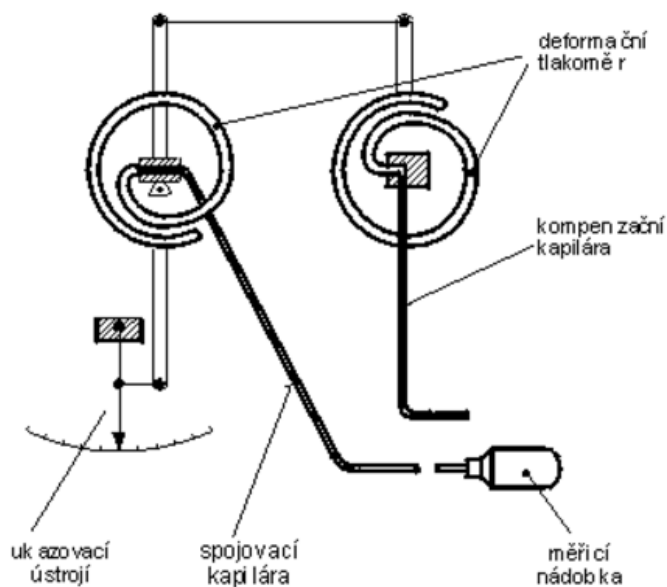


Obr. 6: Termočlánek[13]

2.2.2 Dilatační senzory teploty

Dilatační teploměry jsou založené na teplotní roztažnosti pevných látek, kapalin a plynů. Dle konstrukce se dilatační teploměry dělí na:

- Tyčové teploměry – jsou založeny na teplotní délkové roztažnosti dvou konstrukčních dílů z pevných látek, které jsou spolu spojeny v jediném místě.
- Bimetalické teploměry – u bimetalických snímač se k měření teploty využívá bimetalový pásek složený ze dvou kovů s různými teplotními součiniteli délkové roztažnosti. Při změně teploty se pásek ohýbá a tento pohyb se přenáší na ručku přístroje
- Bimateriálová čidla – jsou založena na stejném principu jako bimetalická čidla, ale jako materiál se používá kombinace kov Al – polovodič Si
- Skleněné teploměry – je to dilatační teploměr založený na teplotní objemové roztažnosti kapaliny ve skle
- Kapalinové tlakové teploměry – princip kapalinového tlakového teploměru je stejný jako u skleněných teploměr, ale měření objemové roztažnosti se převádí na měření tlaku
- Plynové tlakové teploměry – plynový teploměr má teploměrný systém naplněný plynem (dusík, helium) pod tlakem (až $2,5 \cdot 10^6$ Pa). Princip je stejný jako u ostatních tlakových teploměrů[14]



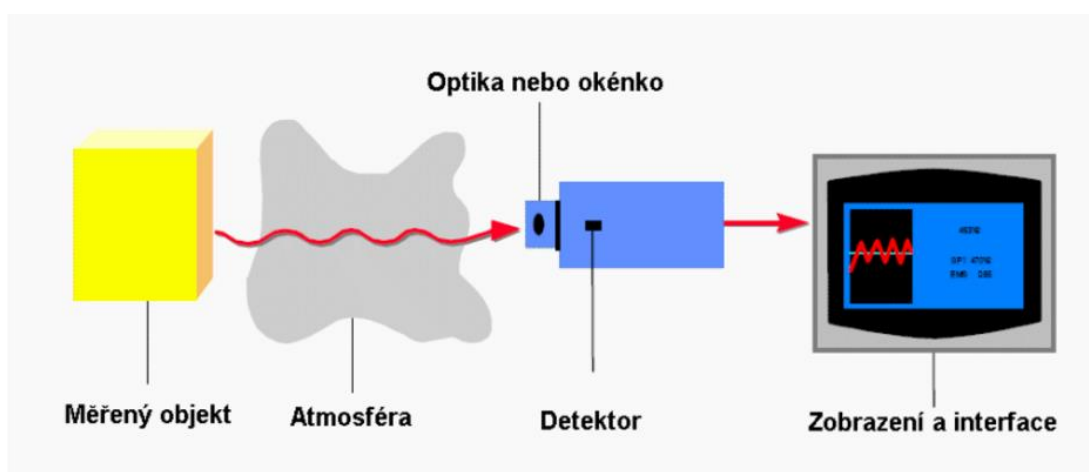
Obr. 7: Princip tlakových dilatačních senzorů[14]

2.2.3 Bezdotykové měření

Senzory pro bezdotykové měření teploty se nazývají pyrometry. Pyrometry měří teplotu předmětů na základě vyzařování tepelného nebo světelného záření (Planckův vyzařovací zákon, Wienův zákon, Stefanův-Bolcmanův zákon). Předměty, které jsou zahřáté na nižší teploty, se neprojevují viditelným zářením, protože vyzařují záření o delších vlnových délkách (infračervené záření) označované jako tepelné záření. Předměty, které jsou zahřáté na vysoké teploty, vyzařují záření o kratších vlnových délkách (UV záření).[15]

Senzory pro bezdotykové měření teploty

- Tepelné senzory teploty
- Kvantové senzory teploty
- Ultrazvukové senzory teploty



Obr. 8: Schéma bezdotykového měření[15]



Obr. 9: Pyrometr[16]

3 Bezdrátová komunikace

Bezdrátová komunikace je spojení dvou zařízení, které jsou spojeny jinak než mechanicky. Podle použití různých nosných médií můžeme rozlišovat mezi komunikací optickou, rádiovou a sonickou. Optická komunikace probíhá díky přenosu světla, rádiová komunikace pomocí radiových vln a sonická díky přenosu zvukových vln. Vzdálenost mezi jednotlivými zařízeními, které spolu komunikují, může být od jednotek metrů do miliónů kilometrů například při komunikaci družicemi. [17]

Typy komunikace

- 1) Optická komunikace
 - laserová pojítka
 - infračervené spoje
 - signální komunikace
- 2) Rádiová komunikace
 - periferie k počítačům
 - Sonická komunikace
 - ultrazvuková komunikace
 - verbální komunikace

3.1 Wi-Fi

3.1.1 Základní informace

Postupem času se stalo připojení k Internetu samozřejmostí nejen v rámci zábavy, ale především v rámci práce. V současné době se pro efektivní práci stalo nutností být připojený k síti. Díky rozvoji přenosných počítačů a chytrých telefonů bylo potřeba vyřešit problém týkající se kabelového připojení do sítě. V místech, kde je to možné, se propojují počítače kabelovým spojením zejména z důvodu velké propustnosti dat, nebo z důvodu nízkých cen ethernetových adaptérů a kabelů. Kabelové spojení však nevyhovuje v případech, kdy je potřeba mít zařízení mobilní a tudíž není možné připojení napájecích vodičů. Další hybnou silou pro vývoj je stále větší tlak uživatelů a marketingových oddělení na mobilitu jednotlivých zařízení.[18]

3.1.2 Vývoj

Pořízení bezdrátového připojení bylo ještě před několika lety velmi drahým záležitostí, kterou si běžní uživatelé jen těžko mohli dovolit. Masové nasazení způsobilo pokles cen zařízení standardu IEEE 802.11, které se dostalo do povědomí jako Wi-Fi. Hromadné využívání technologie Wi-Fi také souvisí s rozběhem výroby levných čipů pro bezdrátové sítě v Asii. Jeden z prvních cenově dostupných čipů,

který se začal vyrábět ve velkém, byl čip Atmel. Byl použitelný pro access pointy, PCI a PCMCIA karty i USB klienty a prakticky odstartoval celosvětový zájem o Wi-Fi.[19]

3.1.3 Pásmo

Bezdrátová komunikace probíhá v různých pásmech. Podle rizika vzájemného rušení můžeme pásma rozdělit na bezlicenční pásmo a licenční pásmo. Bezlicenčnímu pásmu se také říká volné pásmo. Ve volném pásmu se používají zařízení spojené s průmyslovými, vědeckými nebo lékařskými účely. Bezlicenční pásmo používá velké množství přístrojů, které pracují s radiovými vlnami. Provoz bezdrátových sítí ve volném pásmu má daleko nižší náklady a umožní masové využití. Komplikace však nastávají právě díky četnosti zařízení v pásmu. Vzájemné rušení může ovlivňovat činnost jednotlivých zařízení, které se v pásmu používají.

Pásmo licencované poskytuje za licenční poplatek jistotu v podobě zamezení vzájemného rušení. Za cenu licence poskytovatel garantuje poskytnuté služby v daném pásmu. Mezi takové technologie patří GSM nebo nastupující mobilní technologie UMTS. Nastupující bezdrátová technologie WiMAX, také využívá licencovaná pásma a v ČR se současné době nejvíce pro tuto technologii využívá pásmo 3,5 GHz.[19]

3.1.4 Struktura

Struktura bezdrátové sítě může být navržena různými způsoby, které závisí na funkci, které má síť vykonávat. Pro vybudování bezdrátové sítě je nejdůležitější identifikátor SSID (název sítě), což je řetězec až 32 znaků díky kterému se sítě dají rozlišit. V případě, že se chce klient připojit k dané síti, tak je dostupné právě SSID, které je v určitých intervalech vysíláno jako zpráva pro všechny zařízení v síti. V síti spolu mohou komunikovat zařízení, která mají různé platformy nebo jsou vyrobena různými výrobci. Aby byla komunikace mezi těmito různými zařízeními funkční, existují mezinárodní standardy, které specifikují konkrétní vlastnosti. Jejich specifikací se zabývá institut IEEE - specifikace standardů bezdrátových lokálních sítí jsou publikovány pod číslem 802.11. Tento dokument dále obsahuje užší specifikace rozlišené revizními písmeny: např. 802.11b a 802.11g. [20]

Ad-hoc síť

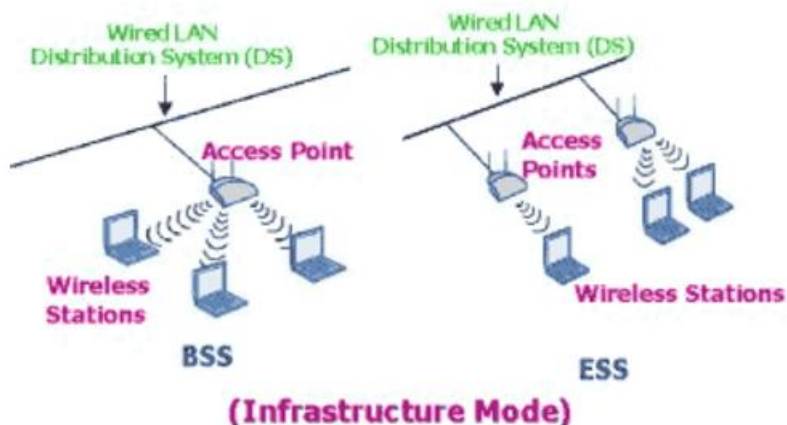
V tomto typu sítě se spojí dvě zařízení (klienti), kteří mají shodnou pozici (peer to peer). Síť tedy nemá centrální řízení. Rozpoznání obou klientů proběhne přes SSID. Oba klienti musejí být v přímém radiovém dosahu. Fungování v tomto typu sítě je vhodné pro menší síťová připojení. [21]



Obr. 10: Schéma Ad-Hoc sítě[22]

Infrastrukturální síť

V infrastrukturální síti se nacházejí jeden nebo více přístupových bodů, kde každý vysílá své SSID. Klient si pak může vybrat, ke kterému bodu se připojí. Přístupové body mohou mít stejné SSID a je na klientovi, ke kterému se kdy připojí. Jestliže se klient pohybuje v oblasti s menším signálem příslušného přístupového bodu, sám se přepojí ke druhému v případě, že má větší signál sítě (roaming).[19]



Obr. 11: Schéma Infrastrukturální sítě[22]

3.1.5 Zabezpečení

Zabezpečit bezdrátovou síť lze různými způsoby. Různé typy zabezpečení se vyvíjely postupně, proto starší zařízení poskytují jen omezené nebo žádné možnosti zabezpečení. Bezdrátové sítě vytvořené na starších zařízeních nemohou uplatit nejmodernější způsoby zabezpečení z důvodu vzájemné nekompatibility. Právě kvůli starším zařízením jsou bezdrátové sítě někdy zabezpečeny pouze základním zabezpečením. V takových případech je vhodné použít zabezpečení na vyšší síťové vrstvě, například virtuální privátní síť.[23]

Bezpečnost bezdrátových sítí můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin:

- šifrování = zabezpečení přenášených dat před odposlechem

- autorizace = řízení přístupu oprávněných uživatelů

Základní způsoby zabezpečení Wi-Fi sítí

- 1) WEP šifrování komunikace pomocí statických WEP klíčů
- 2) WPA šifrování komunikace pomocí několika WEP klíčů
- 3) WPA2 šifrování
- 4) Zablokování vysílání SSID
- 5) Kontrola MAC adres
- 6) Firewall

WEP šifrování

Jedná se o základní metodu zabezpečení sítě pomocí symetrických šifer, které jsou ručně nastaveny na oboustranné bezdrátového spojení. [24]

WPA šifrování

Komunikace pomocí WPA šifrování využívá šifrování několika WEP klíčů, které jsou bezpečným způsobem dynamicky měněny. Ověření přístupu do WPA sítě se provádí pomocí PSK, kdy obě strany používají stejnou dostatečně dlouhou heslovou frázi, nebo pomocí RADIUS server (ověřování přihlašovacím jménem a heslem). [24]

WPA2 šifrování

Vylepšené WPA2 šifrování přináší nejkvalitnější zabezpečení (šifra AES). Vyžaduje však větší výpočetní výkon, takže WPA2 šifrování nelze používat na starších zařízeních.[24]

Zablokování vysílání SSID

Základním zabezpečením bezdrátové sítě je pomocí jejího zdánlivého skrytí. Síť se nezobrazí v seznamu dostupných bezdrátových sítí. Do sítě se lze připojit až po správném zadání SSID (pojmenování sítě), proto musí uživatel znát název této sítě.[24]

Kontrola MAC adres

Zabezpečení pomocí kontroly MAC adres spočívá v tom, že má přípojný bod bezdrátové sítě k dispozici seznam MAC adres zařízení, které mají povolený přístup do sítě. Ostatní zařízení jsou při pokusu o připojení zamítnuta. MAC adresa je jedinečný identifikátor síťového zařízení, je odvozena od výrazu Media Acces Control. Každé zařízení má své unikátní označení.[24]

Firewall

Firewall je softwarové zabezpečení, které chrání lokální síť tím, že omezuje přístup na počítač nebo síť. Většinu firewallů lze nakonfigurovat tak, aby umožňovaly přístup k určitým částem sítě nebo aby odepřely veškerý přístup zvnějšku.[24]

4 Mikroprocesory

4.1 Základní informace

Mikroprocesor neboli centrální procesorová jednotka (CPU) je sekvenční logický obvod, který je integrován do pouzdra jednoho integrovaného obvodu. Slouží k zpracování instrukcí od programu, které jsou uloženy v paměti. Zpracováním dat instrukcemi provede operace vedoucí k výsledkům, které zobrazí na výstupu. Některé instrukce zpracovává sám, k provedení některých dalších instrukcí používá různé komponenty počítače. Základní vlastností mikroprocesoru je vytváření dat podle pokynů určitého programu. Jeho kvalita podstatně ovlivňuje rychlost a výkonnost počítače.[25]



Obr. 12: Mikroprocesor ARM Cortex[28]

4.1.1 Sběrnice

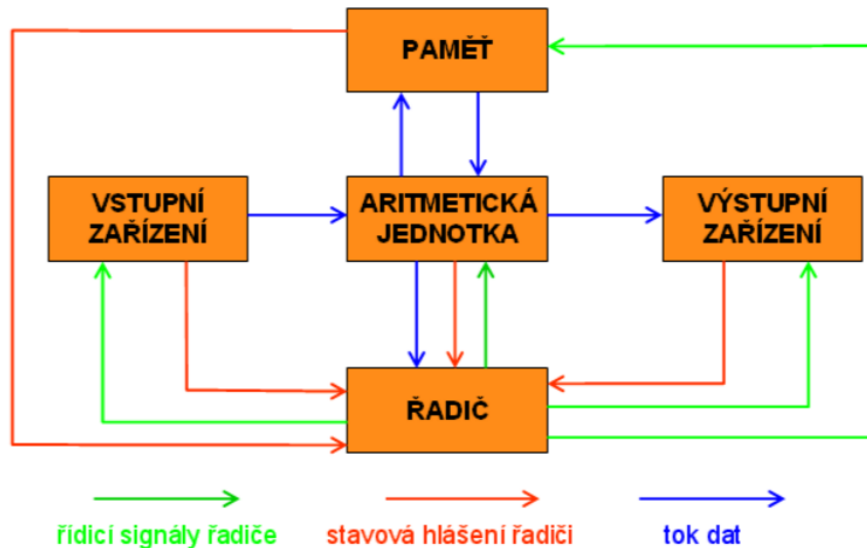
Komunikace mezi mikroprocesorem a komponentami probíhá pomocí sběrnic. Sběrnice je určitý počet vodičů, přes které procházejí data nebo řídicí signály. Šířka sběrnice definuje počet vodičů, které sběrnice má. Sběrnice se dělí na adresové (obhospodařující paměť) a datové (přenáší data mezi mikroprocesorem a okolím). [26]

4.1.2 Přerušování

Mikroprocesor je schopný přijmout během své činnosti přerušování, které žádají o obsluhu v jiné část programu, než ve které se právě nachází. Přerušování mohou vysílat hardwarové periferie, zařízení nebo části programů. Moderní mikroprocesory mají vektorový systém přerušování. Vektory uložení v operační paměti, které si nesou informaci o identifikačním čísle, přerušování ukazují na adresu v paměti, kde je uložen obslužný program přerušování. Aktuální stav ukládá do speciálního registru (zásobníku), aby se po zpracování přerušování mohl vrátit ke své původní činnosti. [26]

4.1.3 Instrukční sada

Instrukční sada mikroprocesoru obsahuje instrukce, pomocí kterých přesouvá data mezi paměti a registry, aritmetické a logické funkce, instrukce pro řízení programu a několik systémových instrukcí.[26]



Obr. 13: Blokové schéma mikroprocesoru[27]

4.2 STMicroelectronics

4.2.1 Výběr mikroprocesoru pro Wi-Fi teplotní senzor

Před samotným zahájením návrhu senzoru bylo potřeba vybrat firmu, která vyrábí nebo produkuje procesory s periferiemi, které se dají využít pro vývoj aplikací. Na trhu je velké množství firem, které toto kritérium splňují, proto bylo hlavní kritérium při výběru výrobce podpora při samotném vývoji. Z důvodu rozsáhlých zkušeností spolupráce ČVUT a STMicroelectronics ať už v rámci spolupráce na závěrečných pracích případně osobních kontaktů učitelů se studenty, kteří ve firmě pracují, jsem zvolil spolupráci právě s firmou STMicroelectronics.

4.2.2 Popis

Společnost STM vyvíjí a vyrábí integrované obvody mikrořadičů založených na 32-bitových procesorech ARM s architekturou RISC. Mezi hlavní integrované obvody mikrořadičů patří procesory ARM Cortex. STMicroelectronics má potřebné licence na ARM procesory přímo od firmy ARM Holdings a tudíž se podílí na jejich vývoji. Od společnosti ARM nakupuje procesory, díky kterým vyvíjí své vlastní integrované obvody, mezi ně patří i vývojové Discovery kity a rozšiřitelné moduly. Každý vývojový kit má četné možnosti konfigurace a ST vždy volí individuální konfigurace pro každý kit. Společnost ST tedy k procesoru připojí požadované periferie a vytvoří tak plně funkční procesorový kit používající se nejčastěji k dalším vývojářským pracím, ať už ze strany zákazníků nebo ze strany vývojářů STM.

4.2.2.1 Jednotlivé série modulů STM32

Jednotlivé série STM32

- 1) STM32 F4
- 2) STM32 F3
- 3) STM32 F2
- 4) STM32 F1
- 5) STM32 F0
- 6) STM32 L4
- 7) STM32 L1
- 8) STM32 L0
- 9) STM32 W
- 10) STM32 J

4.2.2.2 Discovery kity

STM32 Discovery kity jsou soupravy levného a kompletního řešení pro vyhodnocování, programování, vývoj elektronických aplikací s mikroprocesory. Mají potřebnou infrastrukturu pro demonstraci specifických vlastních zařízení, knihovny HAL a komplexní softwarové příklady umožňující využívat maximálních funkcí všech připojených periférií.[28]

Rozšiřující konektory umožňují přístup k většině vstupních a výstupních pinů a tudíž je možné rozšiřovat základní kity přidanými externími moduly. Vývojové kity také obsahují integrovaný programátor pro nahrávání programových projektů do zařízení.

4.2.3 Moduly Nucleo

Vývojové desky (moduly) firmy STMicroelectronics umožňují vytvářet vlastní prototypy aplikací týkající se práce s mikroprocesory a jejich perifériemi. Obsahují snadno použitelnou vývojovou platformu, která nabízí rychlá řešení pro vývoj a správu aplikací s mikroprocesory ARM32 – bit CORTEX. Součástí NUCLEO je otevřená platforma ODP. Pro uživatele je hlavní výhodou flexibilní způsob využití součástí s možností stavět své prototypy spojením dalších desek s mikroprocesory STM32. Vybrat si mohou z velké škály různých kombinací výkonů, spotřeby energie a jednotlivých specifických funkcí desek. Podpora Arduino a ST Morpho headers usnadňují rozšiřování otevřené vývojové platformy STM32 Nucleo s širokou nabídkou specializovaných modulů. STM 32 Nucleo nemá žádný externí programátor. Zařízení, přes které se nahrává do procesoru vývojový kód tzv. programátor, obsahuje přímo na plošné desce se zapojením a integruje ST-Link/ V2-1. STM32 Nucleo desky obsahují také komplexní softwarovou knihovnu HAL spolu s různými softwarovými příklady, na kterých se může vývojář naučit funkce základních příkazů.

5 Realizace Wi-Fi teplotního senzoru teploty

V této kapitole jsou popsány kroky praktického řešení hardwarové a softwarové části Wi-Fi teplotního senzoru.

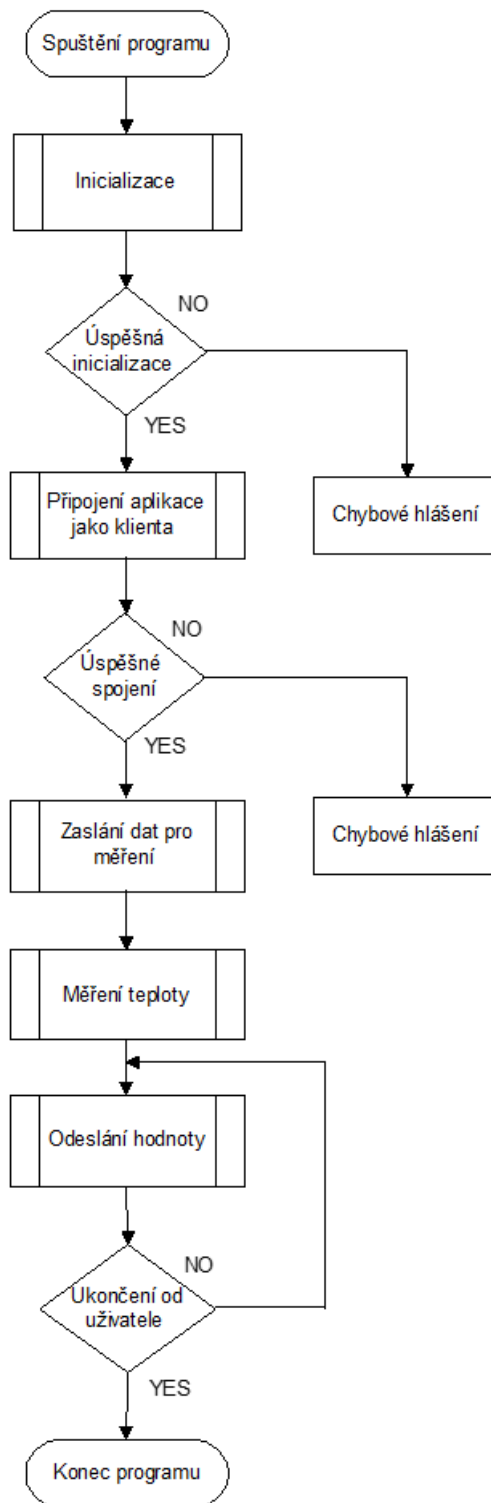
5.1 Návrh měřicího systému – návrh algoritmu

Jednotlivé návrhy jsou rozděleny na tři části. První část se zabývá algoritmem celého zařízení jako celku. V druhé části je rozebrán algoritmus měření teploty a v poslední části algoritmus odesílání dat přes bezdrátovou síť.

5.1.1 Algoritmus Wi-Fi teplotního senzoru

Základní algoritmus vychází z klasického měření teploty, který je doplněný o algoritmus odesílání dat pomocí Wi-Fi modulu. V případě měření pomocí modulů NUCLEO můžeme eliminovat části algoritmu, který se zabývá výběrem měřicí metody, linearizace a dalších potřebných úprav pro dosažení požadovaného rozlišení 0,2°C, protože s těmito úpravami pracuje již samotný modul se senzory.

Základní algoritmus se skládá z jednotlivých inicializací teplotní a Wi-Fi části. Po inicializaci proběhne nastavení připojení Wi-Fi sítě, ke které se pomocí přístupového bodu připojí uživatelská aplikace. Při úspěšném připojení klienta a serveru může začít komunikace a měření. Server (Wi-Fi modul) čeká na zaslání časového intervalu měření, který si vybere uživatel z nabídky v uživatelské aplikaci. Odesláním konkrétního časového intervalu dojde k nastavení registrů a časovačů, které počítají dané intervaly, mezi kterými bude modul nastaven do uspaného módu pro úsporu energie. Vždy po uplynutí časového intervalu dojde přerušením k probuzení modulu, změření hodnoty teploty a následnému odeslání dat do uživatelské aplikace. V uživatelské aplikaci se přijímaná data ukládají do zásobníku pro pozdější výpočty a zároveň se aktuální hodnoty zobrazují do grafu v aplikaci. Vždy po probuzení Wi-Fi modulu mikroprocesor testuje, zda nebylo vyžádáno od uživatele ukončení současného měření, nebo měření nedosáhlo maximálního počtu hodnot. V případě, že uživatel ukončí probíhající intervalové měření z uživatelské aplikace mezi intervaly, dostane mikroprocesor informaci o ukončení až při probuzení. Důvod zpožděného přenosu požadavku uživatele je způsoben tím, že je modul mezi intervaly v režimu spánku a proto přes síť není schopný vysílat ani přijímat data.

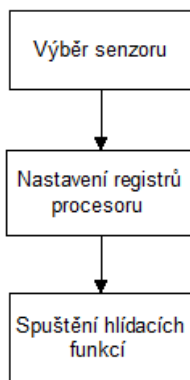


Obr. 14: Vývojový diagram pro algoritmus celého zařízení

5.1.2 Algoritmus pro měření teploty

Před začátkem je potřeba provést kalibraci a inicializaci senzoru. V inicializačním bloku se provede výběr senzoru z MEMS modulu. V tomto případě se jedná o zařízení HTS221. Nastaví se počáteční registry, které mikroprocesor v rámci měření a přepočtu hodnot používá. Dále se spustí funkce, které

testují jednotlivé stavy při měření senzorem a indikují jakékoliv chybové stavy. Tyto chybové stavy mohou nastat během měření například při softwarové chybě, ale především hardwarové chybě tzn. například při přehřátí mikroprocesoru, nefunkčnosti některé elektronické součásti modulu, či neočekávané změny kontrolovaných stavů. Jako poslední se nastaví kalibrační konstanty.



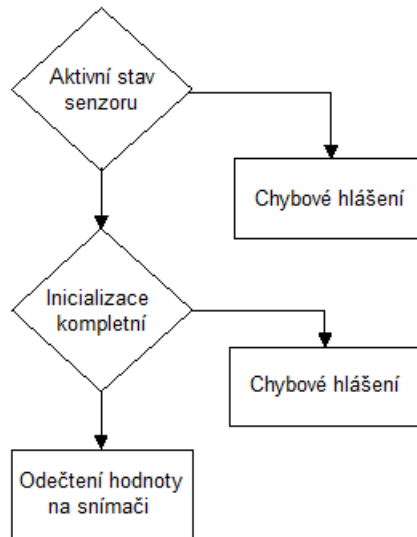
Obr. 15: Vývojový diagram pro počáteční nastavení senzorů

Při úspěšném provedení inicializačního bloku přechází algoritmus do druhého kroku, kterým je povolení jednotlivých částí senzoru. Každý senzor dokáže měřit více veličin. U zařízení HTS221 je to teplota a vlhkost. Proto se v tomto bloku deaktivuje měření vlhkosti a povolí se pouze měření teploty.



Obr. 16: Vývojový diagram pro aktivaci konkrétního čidla

Následuje blok, který zajišťuje samotné měření teploty. Před samotným získáním naměřených hodnot ze snímače algoritmus zkontroluje, zda je senzor připojen v aktivním stavu a jestli proběhla správně kompletní inicializace. V případě zjištění nějaké výstrahy vypíše uživateli příslušnou chybovou hlášku v aplikaci. V případě úspěšné kontroly inicializace předá program řízení funkci, která odečte aktuální hodnotu proměnné na snímači zařízení HTS221.

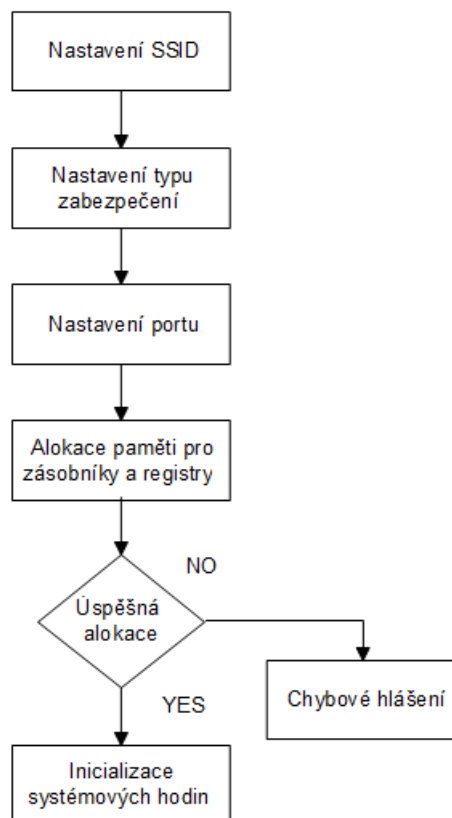


Obr. 17: Vývojový diagram pro kontrolu inicializace a získání teploty

Po získání změřené hodnoty teploty je potřeba hodnotu převést na čitelnou hodnotu ve stupních Celsia na dvě desetinná místa, která se bude zobrazovat uživateli aplikace. Nyní je změřená převedená hodnota teploty připravená k odeslání do uživatelského rozhraní pomocí Wi-Fi modulu.

5.1.3 Algoritmus pro odesílání dat Wi-Fi modulem

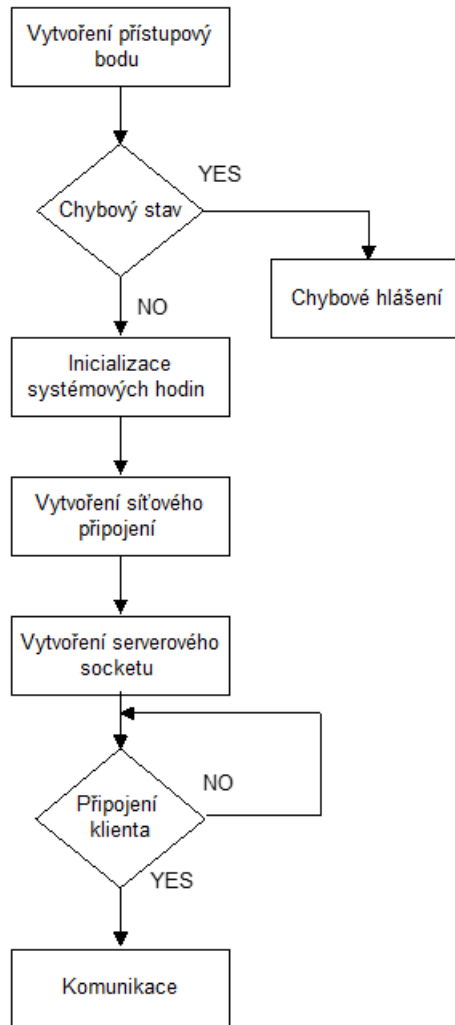
Na začátku programu ještě před samotnou inicializací senzoru se provede inicializace Wi-Fi modulu. V inicializačním bloku se nejprve nastaví parametry sítě, kterou modul vytvoří po zapnutí a ke které se připojí uživatelská aplikace. Mezi základní parametry sítě patří SSID typ zabezpečení a konkrétní heslo pro zabezpečení přístupu. Dále se nastaví číslo portu pro spojení s klientem (aplikací) a také samotný protokol připojení. Po provedení základního nastavení sítě se provede alokace místa v paměti pro zásobníky, které slouží pro ukládání dat při komunikaci. Po úspěšné alokaci paměti a nastavení registrů inicializuje program systémové hodiny Systemclock na mikroprocesoru ARM-Cortex M4, který je obsažen na Wi-Fi modulu.



Obr. 18: Vývojový diagram pro počáteční inicializaci Wi-Fi modulu

V následujícím kroku program vytvoří privátní přístupový bod do sítě, kterou vytvořil modul, který je považován za server. Wi-Fi přístupový bod se vytvoří dle zadaných parametrů sítě, tudíž název sítě společně se zabezpečením odpovídá přednastaveným přihlašovacím údajům. Během vytváření síťového připojení se současně kontrolují pomocí hlídacích obvodů na desce Wi-Fi modulu parametry jednotlivých stěžejních částí zapojení. V případě, že se objeví na výstupech těchto hlídacích obvodů neočekávaný výstup, okamžitě ukončují činnost a hlásí uživateli chybový stav. Po úspěšném vytvoření síťového připojení a přístupového bodu program vytvoří serverový socket, který následně otevře pro komunikaci. Nyní server čeká, až se připojí klient (uživatelská aplikace) k přístupovému bodu.

Uživatelská aplikace se chová jako klient a tudíž má staticky definovanou IP adresu Wi-Fi modulu, která je vždy stejná. Jedná se o IP adresu 172.20.88.1. Díky tomu, že je IP adresa statická (vždy stejná) nevzniká problém při znovu připojování aplikace a modulu. Port, na který server odesílá data je také pevně nastavený, zde se jedná o port 32000. Na tomto portu klient poslouchá, případně vysílá svá data z aplikace. V okamžik, kdy se připojí uživatelská aplikace k přístupovému bodu sítě, kterou vytvořil server (Wi-Fi modul) může začít komunikace.



Obr. 19: Vývojový diagram pro vytvoření bezdrátové komunikaci

5.2 Softwarové řešení – popis

Firma ST nabízí ke svým modulům NUCLEO soubor informačních a programových materiálů, které nazývají CUBE. Každý modul má v příslušenství jednak dokumentaci v podobě referenčních manuálů, návodů na zprovoznění modulu a jednotlivé popisy se schémata, ale také soubor knihoven známý jako X-CUBE.

5.2.1 X-CUBE

V těchto souborech se nachází vždy několik ukázkových projektů, ve kterých je možno vidět základní princip fungování modulu případně jeho součástí. Dále jsou v X-CUBE k dispozici již napsané knihovny, ve kterých se nachází veškeré funkce pro programování modulů

5.2.2 Softwarové knihovny

Knihovny mají vždy své soubory zdrojové s příponou .c ve kterých jsou napsané funkce a dále soubory hlavičkové soubory .h ve kterých jsou definice k příslušným zdrojovým souborům. Názvy zdrojových a hlavičkových souborů jsou vždy totožné, aby bylo jasné, že patří k sobě. Není však pravidlo, že by do hlavičkových souborů nebo naopak do zdrojových mohli přistupovat pouze soubory se stejným názvem, zde záleží na jednotlivém propojování mezi jednotlivými soubory. Proto můžeme díky funkci #include přistoupit z jakéhokoliv místa v kódu do jakéhokoliv knihovny, ke které má program přístup. Přístupy se definují přímo ve vlastnostech projektu programu. Nejprve se definují cesty, kde se fyzicky knihovny se zdrojovými a hlavičkovými soubory nacházejí. Ve druhém kroku se vloží přímo do struktury projektu funkcí import tak, že je vložíme na specifické místo struktury programu v navigačním okně případně v nabídce vlastnosti. Po vložení knihoven a správnému nastavení cest ke zdrojovým a hlavičkovým souborům je potřeba v konfiguračním zdrojovém souboru stm3210xx_conf.c definovat a povolit jednotlivé funkce modulu napojené právě na importované knihovny. V programu Wi-Fi teplotního senzoru jsou vloženy jednotlivé knihovny, obsluhující modul NUCLEO IKS01A1 s MEMS a motions senzory a modul NUCLEO IDW01M1 s Wi-Fi.

5.2.3 Nucleo IKS01A1

Mezi vložené knihovny ze sensorové části patří knihovny týkající se nastavování jednotlivých parametrů zařízení senzorů, které se používají například při inicializování. Dále knihovny, pomocí kterých může uživatel nadefinovat jednotlivé piny na desce jako výstupní, případně vstupní piny. Knihovny, které se používají k ovládání výstupních pinů tlačítek na desce, LED diod na desce. Knihovny také obsahují části kódů, které fungují jako kontrolní body jednotlivých úkonů. Testují, jestli jsou hodnoty hlídacích obvodů Watch dog odesílají a přijímají správné případně reálné hodnoty. V případě, že obvod odhalí jinou hodnotu, než očekává, okamžitě reaguje ať už hláškou pro vývojáře/uživatele nebo vypne část obvodu, aby nedošlo k špatnému vyhodnocení zbylých částí programu.

V knihovnách se také nachází konfigurace jednotlivých hodin procesoru Systemclock, případně konfigurace RTC reálných časových hodin sloužící k udržení informace o reálném času.

5.2.4 Nucleo IDW01M1

Mezi vložené knihovny z komunikační části patří knihovny týkající se nastavování parametrů funkcí Wi-Fi modulu. Patří sem knihovny, které v sobě mají funkce pro vytvoření přístupových bodů, funkce pro vytvoření Wi-Fi síťového spojení, kde je možnost upravit tyto funkce pro konkrétní nastavení modulu jako serveru případně klienta. Zdrojové soubory Wi-Fi modulu obsahují tedy funkce jednak pro ovládání samotné vysílací/přijímací antény, ale také funkce, které ovládají piny na desce NUCLEO. Tyto piny jsou díky konektorům, propojeny s deskou se senzory, ale také se základní deskou NUCLEO

s procesorem ARM-Cortex M0. Díky pinům proto může program prostřednictvím zdrojových souborů přistupovat k tlačítkům nebo LED diodám na desce. Jedna z hlavních částí knihoven je věnována inicializace a obsluze procesoru ARM-Cortex M4, který je na Wi-Fi modulu obsažen a který má na starosti kompletně celou komunikace a vytváření bezdrátové sítě. Se soubory pro ovládání procesoru souvisí také zdrojové soubory ovládající paměti FLASH, RAM, EEPROM, ROM a další komponenty potřebné pro kompletní funkčnost modulu Wi-Fi.

5.3 Hardwarové řešení – jednotlivé konfigurace

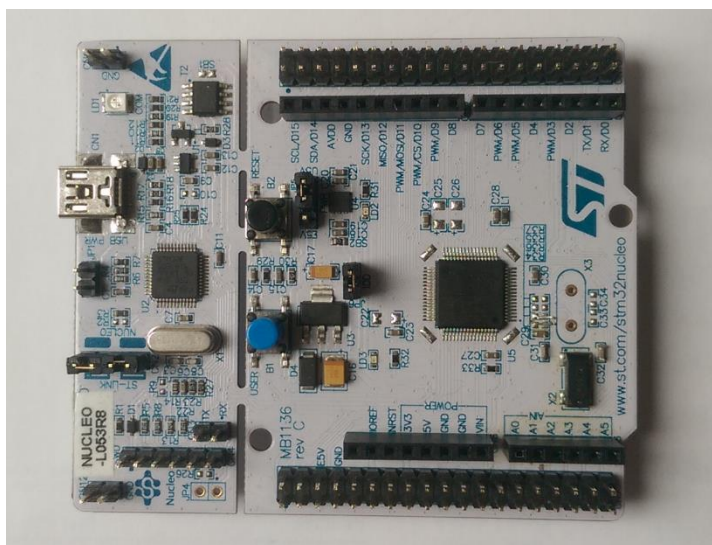
V této kapitole jsou postupně popsány jednotlivé moduly, které byly použity pro sestavení Wi-Fi teplotní senzoru. Nejprve se jedná o základní desku, na kterou jsou následně připojeny desky s Wi-Fi modulem a senzory.

5.3.1 Nucleo L053R8

STM 32 L0 je nejlepší volba při snaze o šetření energie, kapacity. Výdrž baterie je jeden z hlavních pilířů při návrhu programovatelných modulů bez přivedeného kabelového napájení. Například při cíleném navrhnutí systému v oblastech, kde se nemohou vyskytovat přírodní napájecí kabely. Kombinování ultra-low-power systému, který dokáže deaktivovat části modulu, které nejsou aktuálně využity nebo používány nebo pouze snížit výkonost v případě, že není potřeba plného výkonu. Architektura s nízkým provozním proudem společně s úspornými analogovými periferiemi umožňují nastavení až 4 různých režimů spotřeby energie. L0 je proto ideální pro aplikace, která mají fungovat několik let bez výměny baterií, nejčastěji jsou to právě senzory a s nimi spojené ovládání inteligentních budov.

Napájení je možné zvolit podle typu režimu od 1,65V do 5V, kde v uspaném režimu odebírá deska pár desítek mikro ampér. Teplotní rozsah, ve kterém lze modul aplikovat je od -40°C do +125°C což umožňuje měření i v náročnějších teplotních a klimatických podmínkách. Vývojová deska NUCLEO l053R8 obsahuje hlavní krystalový oscilátor 32kHz s dalším Low-speed a high-speed RC oscilátory. Obsahuje také čtyři 12ti bitové ADC převodníky a 19 12ti bitové DAC převodníky. Několikanásobný DMA přímý adresovaný přístup do paměti, 2 watchdog hlídací obvody pro případy objevení nekorektního stavu na hardwaru (ochrana proti destrukci). S tím souvisí i samotné obvody pro automatické resetování obvodů v případě odlišných hodnot procesoru v kontrolních obvodech. Na desce je také implementovaný senzor teploty pro kontrolu teploty hardwarových součástí na desce. V případě přehřívání obvod předá řízení části programu, která zaručí uložení dat a odpojení napájení také v rámci zachování funkčnosti obvodu. Vývojovou desku NUCLEO L053R8 s procesorem ARM-Cortex M0 je použita pro zpracování základních úkonů nejprve měření senzory a následnému odesílání dat do počítačové aplikace. Tento procesor také překládá a uchovává veškeré knihovny, z nichž byly čerpány funkční části měření popřípadě inicializace ostatních desek. L053R8 byla vybrána především

kvůli své malé spotřebě a kompatibilitě s deskami s MEMS senzory a modulem WIFI. L0 series obsahuje 64KB FLASH paměti a 8KB RAM paměti, která se používá k nahrávání programu do zařízení. Architektura procesoru je 32-bitová.



Obr. 20: NUCLEO L053R8

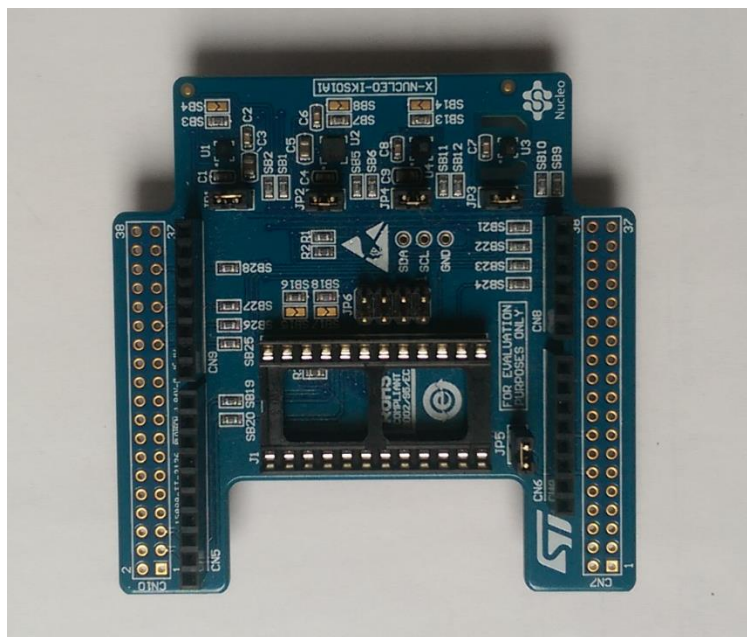
5.3.2 Nucleo IKS01A1

Jsou tzn. MEMS and MOTIONS senzory měřící:

- pohybové veličiny – (gyroskop, akcelerometr, magnetometr);
- veličiny týkající se prostředí jako teplota, tlak, měření magnetických polí a vlhkosti. Každý ze senzorů má své označení a také své referenční manuály společně s dalšími informacemi použití.

Zařízení na desce

- 1) LSM6DS0 obsahuje měřící obvody a elektroniku pro akcelerometr a gyroskop (měřící ve 3 osách)
- 2) LIS3MDL obsahuje měřící obvody a elektroniku pro magnetometr a senzor vlhkosti
- 3) HTS221 obsahuje měřící obvody a elektroniku pro čidlo teploty
- 4) LPS25HB obsahuje měřící obvody a elektroniku pro tlakoměr

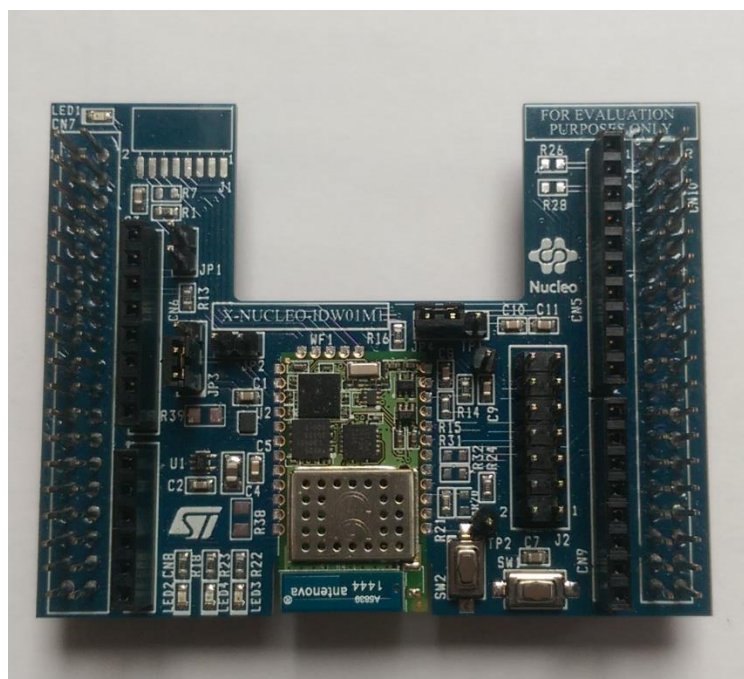


Obr. 21: X-NUCLEO IKS01A1

5.3.3 Nucleo IDW01M1

Tato rozšiřující deska pomocí SPWA modulu rozšiřuje základní desku NUCLEO L053R8 o možnost práce s Wi-Fi sítí. Deska obsahuje vestavěný procesor s nízkou spotřebou s integrovaným výkonovým zesilovačem a SMD anténou pro vysílání nebo naopak přijímání dat. SPWF01SA modul je také vybaven 1 MB externí FLASH pamětí pro firmware. Firmware obsahuje kompletní softwarový IP balíček pro TCP/UDP sockety společně s možností dynamického připojení k webovému rozhraní modulu a následnou komunikací se serverem případně síťovým uložištěm. Firmware podporuje zabezpečení socketů (komunikace) prostřednictvím TLS/SSL šifrování. Šifrování zajišťuje bezpečný provoz i posílání dat na Cloudové uložiště díky funkci Secure Socket s šifrováním TLS/SSL.

Modul může pracovat jako klient, ale také jako server jako Client STA, IBSS nebo minoAP nebo může sám Wi-Fi síť vytvořit a fungovat tudíž jako server. Rozhraní XNUCLEO-IDW01M1 s mikroprocesorem na desce STM32 využívá jako interface sériový port UART. Uživatel tak může snadno přistupovat ke knihovnám



Obr. 22: X-NUCLEO IDW01M1

Konfigurace modulu jako Client STA

Pokud je modul používám v režimu STA, tak provede skenování sítí a v případě, že je k dispozici požadovaný přístupový bod. V případě, že AP nalezne, tak se pokusí otevřít spojení se vzdáleným serverem. Socket se otevře a modul vytvoří socket klienta.

Konfigurace modulu jako MiniAP

Pokud je modul používán v konfigurace MiniAP, tak se připojuje na jakoukoliv WiFi technologii vybavené zařízení jako například počítač

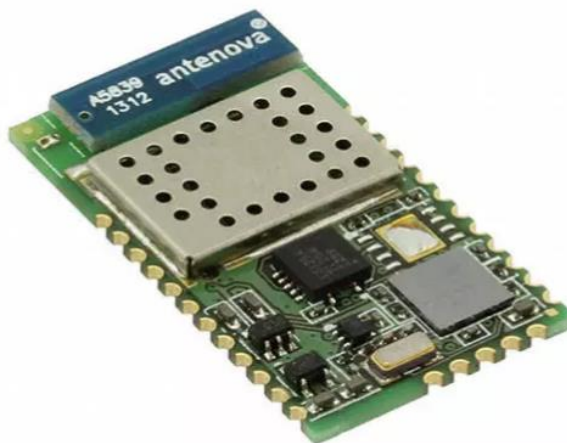
Konfigurace modulu jako http gt

Pokud je modul konfigurován v toto režimu, tak používá RESTful APIs modulu Wi-Fi a to tak, že provede komunikaci s Apache webovým serverem a dostane obsah souboru index.html přímo do socketu. Dále se provede operace POST ve vzdáleném serveru posttestserver.com se 4 proměnnými. Výsledky se zobrazí přímo na portále v případě bezchybné komunikace.

Deska NUCLEO IDW01M1 nabízí několik režimů odběrů energie. Vývojář si může vybrat celkem za 4 módů použití Wi-Fi modulu. Rozdíl mezi těmito módy je v první řadě ve výkonu antény, díky které dochází ke komunikaci s dalšími zařízeními. Další možností jak redukovat spotřebu modulu je naprogramovat uspávání funkcí Sleep nebo Deepsleep, kde dojde k usnutí modulu a tím pádem další úspoře energie

SPWF01SA modul

Modul obsahuje mikroprocesor STM32 ARM Cortex M3 s 64KB RAM a 512KB FLASH pamětí. Dále obsahuje rozšířenou FLASH paměť o velikost 1MB pro firmware používaný při práci s IEEE 802.11. Používá zabezpečení sítě WEP/WPA/WPA2. Rozsah teplot, ve kterých může být modul používán, je od -40°C do 85°C.



Obr. 23: SPWF01SA modul

5.3.4 Pohotovostní doba senzoru

Jeden ze základních parametrů bezdrátových zařízení je pohotovostní doba neboli výdrž zařízení na baterii při jeho používání. V případě Wi-Fi senzoru teploty je určující především to, jak často se data odesílají přes Wi-Fi. Wi-Fi modul odebírá při odesílání dat až 250mA, při čekání 80mA a v režimu Stand by 5 μ A. NUCLEO L053R8 se hlavním procesorem pro zpracování dat odebírá při nízko odběrovém módu 8,55 μ A.

Nejmenší pohotovostní doba senzoru je při odebírání teploty každou sekundu. V tomto intervalovém měření vydrží senzor měřit celkem 5,4 hodin. Nejdelší pohotovostní doba je při odběru hodnot jednou za hodinu. Bez softwarové úpravy usnutí periférií vydrží senzor měřit 20 hodin. Při uspávání periférií senzoru mezi odběry dokáže senzor měřit až 32 hodin.

V případě navrženého senzoru mají odběry energie navíc periférie, které nemají s měřením nic společného. V případě navrženého senzoru pouze s nutnými součástkami a obvody, se pohotovostní doba zvýší až na několiknásobek stávající maximální pohotovostní doby. Pohotovostní doba se také mění podle použité baterie. Při měření byly použity alkalické baterie s celkovou kapacitou 1350mAh.

6 Návrh aplikace pro měření teploty

6.1 Popis softwaru aplikace

Aplikace pro ovládání a nastavování procesu měření Wi-Fi teplotním senzorem je vytvořena v jazyku Java. Program se skládá z celkem 4 hlavních částí.

6.1.1 Navázání spojení se senzorem

Nejprve po zapnutí senzoru je nutné připojit počítač k Wi-Fi síti, kterou senzor vytvoří. V případě, že se úspěšně připojí, uživatelský počítač do sítě otestuje program připojení mezi aplikací a senzorem. Aplikace funguje jako klient a tudíž se připojí na senzor, který funguje jako server. IP adresa senzoru je neměnná, proto je v programu pevně definovaná IP adresa s portem, ke kterému se má klient připojit. Klient se připojí a vytvoří socket, kterým otestuje spojení. Pokud spojení proběhne bez chybových stavů, aplikace je připravena pro zahájení měření.

6.1.2 Zpracování nastavených dat od uživatele

V druhém kroku si již může uživatel vybrat měřicí intervaly, kterými se senzor bude řídit. Po výběru příslušného časového intervalu měření stiskne uživatel tlačítko v aplikaci, která požadavek odešle Wi-Fi senzoru. Po odeslání požadavku senzoru se indukují v aplikaci stav probíhajícího měření a senzor již měření v daných intervalech.

6.1.3 Přijímání dat ze senzoru

Senzor se podle časového intervalu probudí z režimu spánku, aktivuje senzory a změření teplotu. Naměřenou hodnotu odesílá přes Wi-Fi zpět do aplikace, kde následně proběhne zpracování. Pro odeslání naměřených hodnot vždy senzor vytvoří serverový socket, do kterého uloží specifickou hodnotu a odešle klientovy.

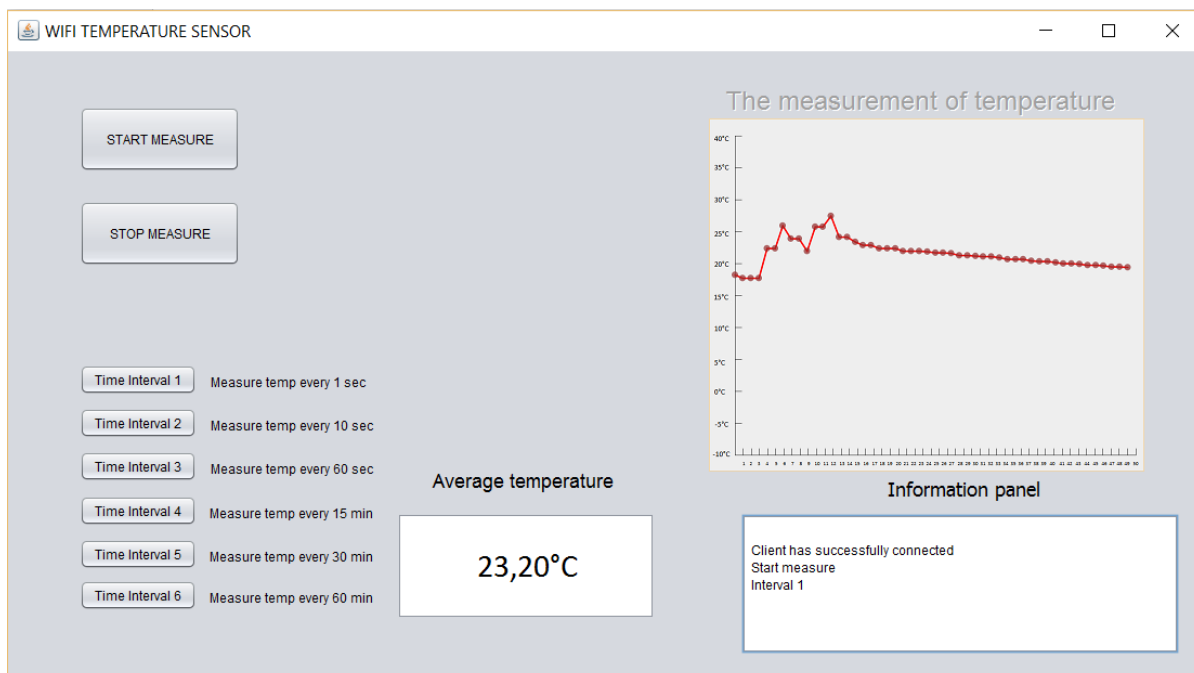
6.1.4 Zpracování naměřených dat

Naměřená data aplikace ukládá do zásobníku společně s časovými údaji. Po uložení do zásobníku, pro možnost dalšího zpracování data vloží do jednoduchého grafu na displeji aplikace. V grafu se vynáší konkrétní hodnota teploty v určeném čase intervalu. Z naměřených hodnot se počítá průměrná hodnota teploty, pro konečné vyhodnocení.

6.2 Popis grafického rozhraní

Základní obsah grafického rozhraní aplikace jsou tlačítka pro spuštění a vypnutí komunikace se senzorem. Po spuštění je možno vybrat z několika časových intervalů, ve kterých bude senzor měřit. Grafické rozhraní obsahuje displej, na kterém se zobrazuje průběh změřených hodnot teploty v čase.

Součástí je také textové pole, které vypisuje logování. Logování obsahuje výpis chybových stavů nebo naopak úspěšné splnění podmínek při komunikaci.



Obr. 24: Grafické rozhraní uživatelské aplikace

7 Implementace měřicího systému – reálné využití

7.1 Datalogger pro časový sběr teplot

Bezdrátový Wi-Fi teplotní senzor lze využít při dlouhodobém zaznamenávání (sběru) teplot na místech, kde nemůže být vedena kabeláž k senzoru. Datalogger v sobě ukládá hodnoty naměřených teplot a vždy po nějakém delším časovém intervalu například na konci každého dne, odešle soubor naměřených teplot ke zpracování do aplikace. V rámci malé spotřeby Wi-Fi teplotního senzoru může datalogger fungovat i několik měsíců bez potřeby zásahu od uživatele.

7.2 Měřicí zařízení teploty na nepřístupných místech

Díky bezdrátové komunikaci a malých rozměrů Wi-Fi teplotního senzoru lze použít zařízení v místech, které se nedají nebo nesmí být během měření navštěvovány obsluhou. Jedná se o čisté prostory ve výrobních procesech, nebo například těžko přístupná místa vysokých staveb nebo přístrojů.

7.3 Měřicí zařízení pro kontrolu povolených teplot

Wi-Fi teplotní senzor, lze taky využít jako komponentu rozsáhlejšího systému. Senzor zde může mít funkci kontroly povolených maximálních nebo minimálních teplot. Tento druh použití má reálné uplatnění ve výrobním průmyslu, kde je potřeba kontrolovat velkou škálu parametrů sledovaných obsluhou zařízení.

7.4 Zařízení pro měření efektivity vytápění inteligentních budov

Jedno z předních uplatnění se nachází při snaze docílit optimálního vytápění inteligentních budov. Senzor může být spojen s řídicím systémem v dané budově a v kombinaci s několika dalšími vhodně umístěnými senzory bude systém ovládat zapínání příslušných topení dle jejich rozmístění v budově.

7.5 Zařízení pro zpracování teplot z připojených externích senzorů

Teplotní Wi-Fi senzor lze využít jako zařízení, na které se připojí externí senzor pro měření v extrémních podmínkách. Zařízení nemůže být umístěno přímo v prostředí s extrémními teplotami, protože obsahuje mikroprocesory s periferiemi, která mají jen určité dovolené teplotní rozsahy. V případě připojení externího platinového snímače PT1000 můžeme měřit v oblastech, kde teploty dosahují až 1000°C aniž bychom zařízení zničili.

Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh a realizace teplotního senzoru, který bude schopen pracovat bez napájecích či komunikačních vodičů. Na začátku bylo potřeba vybrat firmu, jejíž komponenty budou vyhovovat základním požadavkům a také náročnosti realizace. Díky podpoře přímo od výrobců komponentů v případě komplikace s návrhem jsem zvolil právě firmu STMicrotronics. Vybrané hardwarové komponenty byly konzultovány přímo s firmou STMicroelectronics. Před samotným návrhem hardwaru a softwaru bylo potřeba určit základní bloky, které by zajistily kvalitní funkčnost senzoru. Jednalo se o výběr konkrétního mikroprocesoru pro zpracování dat s tím, že musí mít možnost spuštění v režimu snížené spotřeby, pro co nejdelší výdrž na bateriích. Druhým bodem bylo určení typu senzoru pro měření teploty tak, aby splňoval povolenou toleranci $0,2^{\circ}\text{C}$. Tento požadavek byl splněn zvoleným senzorem HTS221. V poslední části bylo potřeba zvážit druh Wi-Fi modulu a samotné komunikace a připravenosti. Po probrání požadavků a návrhů byl vybrán procesor STM32L053R8, který je na desce NUCLEO L053R8, senzory pro měření teploty HTS221, které jsou na desce X-NUCLEO IKS01A1 a Wi-Fi modul SPWF01SA, který je na desce X-NUCLEO IDW01M1.

V teoretickém popisu práce se nachází seznámení se základní problematikou měření teploty společně s rozdělením senzorů teploty a jejich principy. Součástí teoretického popisu je i rozbor základní problematiky bezdrátové komunikace společně s popisem funkčnosti konkrétní Wi-Fi komunikace.

Praktická část práce popisuje jednotlivé části zrealizovaného Wi-Fi senzoru teploty, který je napájen z akumulátorových baterií a měří hodnoty teploty prostředí, které odesílá do uživatelské aplikace pro zpracování. Na začátku této části byly navrženy správné algoritmy pro ovládání desky se senzory, ovládání vysílání a přijímání dat přes bezdrátovou komunikaci a také algoritmus celkového chodu jednotlivých částí zařízení spojených do jednoho celku. Dále jsou v praktické části popsány významy a použití knihoven od firmy STMicroelectronics, které byly použity při návrhu softwarového řešení Wi-Fi teplotního senzoru. Knihovny umožňují efektivní nastavení hardwarových periférií v obvodech především v inicializačních blocích programu. Praktická část také zahrnuje popis softwarového řešení uživatelské aplikace, díky které je možno ovládat senzor pohodlně přes uživatelské rozhraní. Aplikace umožňuje komunikaci s měřicím zařízením společně se zadáváním parametrů měření, kterými jsou časové intervaly jednotlivých měření. V poslední kapitole je rozebráno možné použití měřicího zařízení v několika různých rolích, ve kterých se využívá zpracování změřené teploty.

Zařízení je možno používat jako samostatné zařízení pro měření a sběr dat s možností zálohování v počítači nebo ho lze použít jako součást většího systému, kde bude vykonávat funkci hlídacího obvodu v rámci teplot. Další možné uplatnění senzoru je v případě měření teploty v extrémně nepříznivém prostředí díky možnosti připojení externího senzoru přes výstupní piny na zařízení. Navržený Wi-Fi teplotní senzor je možné doplnit o další senzory teploty s bezdrátovou komunikací. Toto spojení vytvoří systém zaznamenávající a zpracovávající teploty měřených prostorů, v nichž se senzory nacházejí.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Měření teploty [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.teplomery-galileo.cz/temereni-teploty/>
- [2] <http://fyzmatik.pise.cz/641-teplota-versus-teplo.html>
- [3] <http://www.fyzika007.cz/molekulova-fyzika-a-termika/termodynamicka-teplota-a-teplotni-stupnice>
- [4] M. Kreidl, Měření teploty Senzory a měřící obvody, BEN, Praha 2005 240s. ISBN 80-7300-145-4
- [5] Platil, A., Ripka, P.: Senzory a převodníky. Laboratorní cvičení. Skripta ČVUT, Praha (dotisk 2006)
- [6] Přehled principů el. měření teploty [online]. 2014 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
- [7] Odporové senzory teploty [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_3_2_4.htm
- [8] Teorie zpracování signálu platinových teplotních senzorů [online]. 2014 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/zpracovani-signalu-platinovych-senzoru>
- [9] PT100 [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/labfacility-limited/product-86559-1227165.html>Měření teploty [online]. 2013 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k43-tepl.htm>
- [10] Možnosti využití termoelektrických jevů pro výrobu elektrické energie z odpadního tepla [online]. 2013 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektrickych-jevu-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla>
- [11] Termoelektrické články [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmr/v0322e-Termoclanky.htm>
- [12] Termočlánky [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/sn_tcl.htm
- [13] Termočlánky [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.kamnar.cz/?19,termoclanek-typu-k>
- [14] Měření teploty [online]. 2013 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k43-tepl.htm>

- [15] Přehled principů el. měření teploty - 2. díl - bezdotykové [online]. 2014 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/rehled-principu-el-mereni-teploty-2-dil-bezdotykov>
- [16] Pyrometry [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.tme.eu/cz/pages/New_Product:video-pyrometry-ax-7550.html
- [17] Bezdrátové sítě [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://bezdratovesite.wz.cz>
- [18] Bezdrátové připojení - Úvod [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.bezdratovepripojeni.cz/clanky/jak-na-wifi>
- [19] Co je to Wi-Fi - úvod do technologie [online]. 2003 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/produkty/ethernet/co-je-to-wifi-uvod-do-technologie.html>
- [20] Struktura bezdrátové sítě [online]. 2010 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~mkopecka/zps_stranky/struktura.html
- [21] Architektura Wi-Fi sítí [online]. 2007 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/b07/b0500001.php3>
- [22] WiFi: Průniky do sítí a připojení k Internetu [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/software/ochrana-pocitace/3810-wifi-pruniky_do_siti_a_pripojeni_k_internetu
- [23] Jak zabezpečit domácí Wifi router / síť - WPA / WEP [online]. 2008 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://myego.cz/item/jak-zabezpecit-domaci-wifi-router-sit-wpa-wep>
- [24] Základní způsoby zabezpečení Wi-Fi sítí [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <https://www.o2.cz/osobni/techzona/252047-zabezpeceni.html>
- [25] Co je to mikroprocesor [online]. 2011 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.stylemagazin.cz/hi-tech/53-novinky/1103-co-je-to-mikroprocesor-procesor-intel-4004-slavi-40-narozenin> Wi-Fi sítě [online]. 2008 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/hardware/site-a-internet/11138-wi-fi-site-vse_co_jste_kdy100
- [26] Principy mikroprocesorů [online]. 2005 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.beranr.webzdarma.cz/hardware/mikroprocesor.html>
- [27] Blokové schéma počítače [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=10031
- [28] Microcontrollers [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers.html

Seznam obrázků

Obr. 1: Blokové schéma senzoru[4]	12
Obr. 2: Charakteristika Odporových senzorů[8]	13
Obr. 3: Odporový senzor [9]	14
Obr. 4: Teplotní závislost jednotlivých termočlánků[11].....	15
Obr. 5: Schéma zapojení termočlánku[12].....	15
Obr. 6: Termočlánek[13].....	15
Obr. 7: Princip tlakových dilatačních senzorů[14].....	16
Obr. 8: Schéma bezdotykového měření[15].....	17
Obr. 9: Pyrometr[16]	17
Obr. 10: Schéma Ad-Hoc sítě[22].....	20
Obr. 11: Schéma Infrastrukturní sítě[22]	20
Obr. 12: Mikroprocesor ARM Cortex[28]	23
Obr. 13: Blokové schéma mikroprocesoru[27]	24
Obr. 14: Vývojový diagram pro algoritmus celého zařízení	27
Obr. 15: Vývojový diagram pro počáteční nastavení senzorů	28
Obr. 16: Vývojový diagram pro aktivaci konkrétního čidla.....	28
Obr. 17: Vývojový diagram pro kontrolu inicializace a získání teploty	29
Obr. 18: Vývojový diagram pro počáteční inicializaci Wi-Fi modulu.....	30
Obr. 19: Vývojový diagram pro vytvoření bezdrátové komunikaci.....	31
Obr. 20: NUCLEO L053R8	34
Obr. 21: X-NUCLEO IKS01A1	35
Obr. 22: X-NUCLEO IDW01M1.....	36
Obr. 23: SPWF01SA modul.....	37
Obr. 24: Grafické rozhraní uživatelské aplikace	39

Seznam příloh

Přílohy jsou součástí přiloženého CD.

Příloha A: Implementace na Wi-Fi teplotní senzor (program)

Příloha B: Implementace na uživatelskou aplikaci (program)