

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Bakalářská práce

**Analýza bezdrátových přenosů z pohledu bezlicenčních
frekvenčních pásem**

Lukáš Zischka

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lukáš Zischka

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Analýza bezdrátových přenosů z pohledu bezlicenčních frekvenčních pásem

Název anglicky

Analysis of wireless transmissions from the point of view of unlicensed frequency bands

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat problematiku bezdrátových přenosů, zejména pohledu využití dostupných frekvenčních pásem a dalších atributů, jako jsou stabilita, rychlost, latence, bezpečnost apod. Na základě rešerše pak realizovat testovací zapojení pro zjištění vytiženosti a otestování funkcionality automatického přepínání směrovačů. Na závěr zhodnotit a diskutovat výsledná zjištění.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Standardy a atributy bezdrátových sítí
4. Výběr a porovnání nelicencovaných bezdrátových přenosů
5. Problematika pásem bezdrátových přenosů
6. Prostředky pro testování
7. Analýza pásem bezdrátových přenosů
8. Zhodnocení a závěrečná doporučení
9. Závěr

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

Wi-Fi, nelicencované přenosy, frekvenční pásma

Doporučené zdroje informací

Gast, Matthew S., 802.11 Wireless Networks The Definitive Guide. Vydání 2., O'Reilly Media, Inc., 2005. ISBN 978-0596100520

Klement, M., Technologie bezdrátových sítí – základní principy a standardy. Vydání 1., Univerzita Palackého v Olomouci, 2017. ISBN 978-80-244-5156-5

Smith, C., Collins, D., Wireless Networks: Design and Integration for LTE, EVDO, HSPA, and WiMAX. Vydání 3., McGraw-Hill Education, 2013. ISBN 978-0071819831

Zandl, P., WiFi – Bezdrátové sítě – Pratický průvodce, Computer Press, 2004. ISBN 80-7226-632-2

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Marek Pačes

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 8. 2. 2023

doc. Ing. Jan Malašák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 2. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Analýza bezdrátových přenosů z pohledu bezlicenčních frekvenčních pásem" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28. 3. 2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Marku Pačesovi za jeho cenné rady, ochotu a vstřícnost při zpracování této bakalářské práce. Taktéž bych chtěl poděkovat své rodině za podporu nejen při psaní práce, ale i po celou dobu mého studia.

Analýza bezdrátových přenosů z pohledu bezlicenčních frekvenčních pásem

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je analýza a rešerše teoretických poznatků bezdrátových nelicencovaných přenosů a sítí. V kapitole „Standardy a atributy bezdrátových sítí“ jsou stručně popsány hlavní principy fungování bezdrátových sítí, jejich vlastnosti a základní rozdělení. V další kapitole se práce zaměřuje na podrobnější popis jednotlivých bezlicenčních pásem. Následující kapitola pak popisuje problematiku pásem bezdrátových přenosů. Kapitola „Analýza pásem bezdrátových přenosů“ se zabývá vlastním měřením, které slouží k rozboru správné funkčnosti automatického přepínání směrovačů.

Klíčová slova: Wi-Fi, nelicencované přenosy, frekvenční pásma

Analysis of wireless transmissions from the point of view of unlicensed frequency bands

Abstract

The subject of this bachelor thesis is the analysis and research of theoretical knowledge of wireless unlicensed transmissions and networks. In the chapter "Standards and attributes of wireless networks" the main principles of wireless networks, their characteristics and basic divisions are briefly described. In the next chapter, the thesis focuses on detailed description of the individual unlicensed bands. The following chapter then describes the issues of wireless transmission bands. The chapter "Analysis of wireless transmission bands" deals with the actual measurements used to analyse the correct functionality of automatic router switching.

Keywords: Wi-Fi, unlicensed transmissions, frequency bands

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce a metodika	2
2.1 Prostředky pro testování.....	2
2.2 Postup měření.....	2
3 Standardy a atributy bezdrátových sítí	3
3.1 Fyzické rozhraní bezdrátových přenosů.....	5
3.1.1 Přenosové mechanismy.....	6
3.2 Rozdělení bezdrátových sítí	10
3.3 Vlastnosti bezdrátových sítí	13
3.3.1 Stabilita	13
3.3.2 Rychlost	13
3.3.3 Bezpečnost	13
3.4 Standard 802.11.....	14
3.4.1 Standard 802.11a	15
3.4.2 Standard 802.11b	16
3.4.3 Standard 802.11g	16
3.4.4 Standard 802.11n	16
3.4.5 Standard 802.11.ac.....	16
3.4.6 Standard 802.11ax	17
3.5 Bluetooth.....	17
4 Výběr a porovnání nelicencovaných bezdrátových přenosů.....	19
4.1 Pásmo 2,4 GHz.....	19
4.2 Pásmo 5 GHz.....	20
4.3 Porovnání pásem	20
5 Problematika pásem bezdrátových přenosů.....	21
5.1 Šíření signálu.....	22
5.1.1 Antény.....	22
5.1.2 Umístění routeru	23
5.2 Povětrnostní podmínky	23
5.3 Denní špička.....	24
5.4 Budoucnost nelicencovaných přenosů	25
6 Analýza pásem bezdrátových přenosů	26
7 Zhodnocení a závěrečná doporučení	29
8 Závěr.....	30
9 Seznam použitých zdrojů	31
10 Seznam obrázků	35
11 Seznam tabulek	36
12 Seznam grafů	36
13 Přílohy	37

Seznam použitých zkratk

BAN	Body Area Network
CCA	Clear Channel Assessment
ČTÚ	Český telekomunikační úřad
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GAN	Global Area Network
HR	High Rate
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IR	Infrared, infračervené záření
IrDA	Infrared Data Association
ISM	Industrial, Scientific, Medical
ISO/OSI	International Organization for Standardization/Open Systems Interconnection
LAN	Local Area Network
LE	Low Energy
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MC	Multi Carrier
OFDM	Orthogonaly Frequency Division Multiplex
PAN	Personal Area Network

PLCP	Physical Layer Convergence Procedure
PMD	Physical Medium Dependent
SC	Single Carrier
WAN	Wide Area Network
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WEP	Wired Equivalent Privacy
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WPA	Wi-Fi Protected Access
XOR	Exclusive OR, exkluzivní disjunkce

1 Úvod

Spolehlivý přenos dat je v dnešní době čím dál důležitější. Ten může být realizován pomocí počítačových sítí a funguje pouze při dodržování určitých pravidel. Síť lze rozdělit podle několika hledisek jako např. podle jejich samotné realizace či podle rozlehlosti. Požadavky uživatelů se mohou lišit, ať už se jedná o vyšší spolehlivost, rychlost nebo větší míru zabezpečení. Bezdrátové sítě jsou elegantní a relativně levnou variantou realizace vysokorychlostního datového přenosu.

Datový přenos bezdrátovou sítí však není zcela spolehlivý a oproti přenosům na pevných sítích bývá zpravidla pomalejší, méně stabilní a bezpečnostně náchylnější. Navíc v blízkosti dalších bezdrátových sítí dochází ke vzájemnému rušení, což výrazně snižuje kvalitu přenosu. Aby se toto rušení minimalizovalo, případně k němu vůbec nedocházelo, jsou téměř všechny moderní směrovače vybaveny o funkci automatického přepínání kanálu, které by v případě velkého zarušení měly bezdrátovou síť přesunout na vhodnější kanál pro plynulejší chod internetového spojení.

V současnosti je budování a konfigurace bezdrátových sítí velmi jednoduchá, neboť jsou síťové prvky snadno dostupné a je možné vybírat z mnoha různých typů a provedení. Je možné vybrat takovou technologii, aby co nejlépe odpovídala požadavkům a potřebám dané aplikace. [1]

2 Cíl práce a metodika

Cílem práce je analyzovat problematiku bezdrátových přenosů, zejména pohledu využití dostupných frekvenčních pásem a dalších atributů, jako jsou stabilita, rychlost, latence, bezpečnost apod. Na základě rešerše pak realizovat testovací zapojení pro zjištění vytíženosti a otestování funkcionality automatického přepínání směrovačů. Na závěr zhodnotit a diskutovat výsledná zjištění.

2.1 Prostředky pro testování

Pro testovací zapojení byl použit směrovač (router) Huawei B2368-66. K otestování jeho správné funkčnosti automatického přepínání bylo využito dvou volně dostupných programů, jejichž bezplatné verze nabízejí dostatečné funkce k provedení celého měření.

- WiFi Analyzer (verze 2.6.1.0) – jednoduchý nástroj, často integrovaný přímo do Windows, vyvinutý Mattem Hafnerem, který dokáže určit nejvhodnější kanál a poskytuje celkový přehled o vytíženosti ostatních pásem v okolí.
- NetWorx (verze 7.1.1) – všestranný software od společnosti SoftPerfect umožňující sledovat internetové připojení dané sítě ve větším časovém úseku. V rámci této práce byl využit pro měření aktuální přenosové rychlosti a odezvy.

2.2 Postup měření

V předem stanovené časy v určitém časovém rozmezí pomocí nástroje WiFi Analyzer sledovat routerem aktuálně využívaný kanál, počet dalších uživatelů tohoto kanálu, kolikátý nejlepší a nejhorší kanál router právě používá, a jaký kanál je v aktuální chvíli nejvhodnější. Mezi dalšími sledovanými parametry je přenosová rychlost a odezva, k jejichž měření slouží program NetWorx.

3 Standardy a atributy bezdrátových sítí

Mimo klasických kabelových sítí existují i sítě bezdrátové. Jejich hlavní předností je možnost přenosu informace tam, kde je realizace kabelového propojení nákladná, případně z technických důvodů není vůbec možná, např. horské oblasti, městské aglomerace, budovy aj. Typickou bezdrátovou sítí tvoří distribuční systém, přístupový bod a klientská stanice. Mezi přístupovým bodem a stanicí zákazníka se k přenosu informace volným prostorem, tj. bezdrátovým médiem, využívá elektromagnetických neboli nosných vln. Na nich jsou na modulovaná data uživatele. [2], [3]

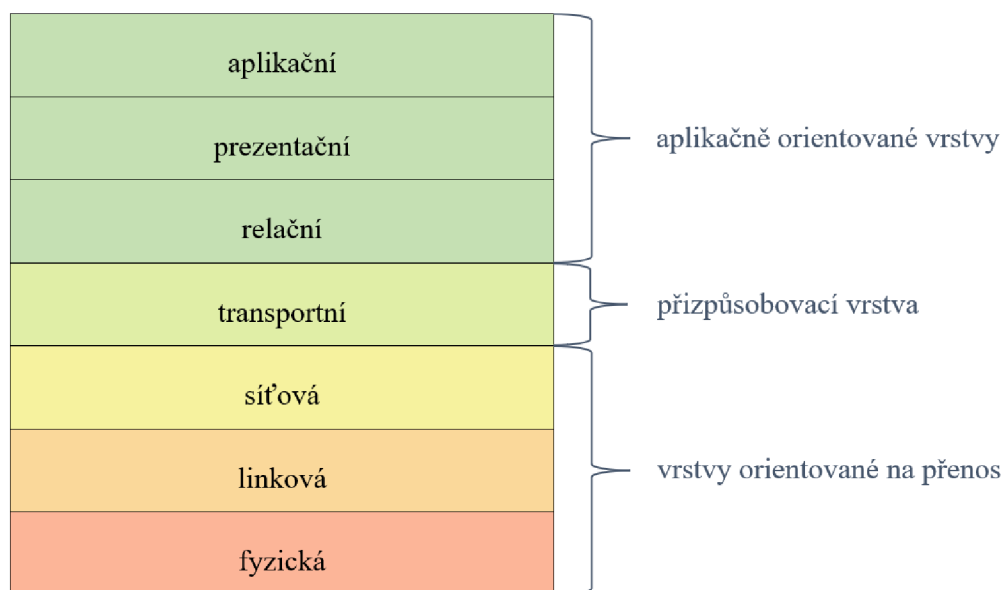
Bezdrátové sítě nám nabízejí mnohem větší volnost při návrhu topologie a měly by zjednodušit následnou realizaci oproti kabelovým sítím. Dle požadované topologie je pak bezdrátová zařízení možné mezi sebou propojit několika způsoby. V praxi jsou nejvíce provozovány sítě založené na topologii „bod – bod“ nebo „bod – více bodů“, v anglické literatuře označovány jako „Point-to-Point“ a „Point-to-Multipoint“.

V prvním případě se jedná o dvoubodový spoj a používá se k vytváření páteřních propojení. Tyto spoje mají větší přenosovou kapacitu a díky použití směrových antén jsou odolnější vůči rušení.

Druhá zmíněná topologie nachází využití v přístupových sítích a slouží k propojení koncových uživatelů s distribučním systémem. V distribuční síti většinou dochází k tomu, že mnoho uživatelů sdílí tentýž komunikační kanál, čímž se zvyšuje pravděpodobnost interferencí – vzájemného ovlivňování, a tím pádem stoupá šum na pozadí, který znehodnocuje komunikaci. [2]

Bezdrátové sítě definované standardy IEEE 802.11, obdobně jako u ostatních síťových zařízení a protokolů, vycházejí z referenčního modelu ISO/OSI, který je ilustrován obrázkem 1.

Obrázek 1 Referenční model ISO/OSI



Tyto standardy jsou definovány na prvních dvou vrstvách tohoto modelu, jak lze vidět v tabulce 1. [3] Linková vrstva je rozhraním mezi síťovou a fyzickou vrstvou a dělí se na dvě podvrstvy – MAC a LLC. [4]

Tabulka 1 Referenční model ISO/OSI pro bezdrátové sítě založené na standardech 802.11 [2]

linková vrstva	LLC					
	MAC					
fyzická vrstva	IEEE 802.11 IR	IEEE 802.11 DSSS	IEEE 802.11 FHSS	IEEE 802.11a OFDM	IEEE 802.11b HR-DSSS	IEEE 802.11g OFDM

Nižší podvrstva MAC přiděluje přístup k médiu a zajišťuje fyzické adresování, sehrává tak klíčovou roli při zachování životnosti sítě. Vyšší podvrstva LLC zajišťuje řízení toku přidáním příslušných informací o zdroji a cíli a za cyklické redundance. Tato podvrstva je také zodpovědná za multiplexování protokolů předávaných podvrstvě MAC při vysílání, což je proces, ve kterém je více signálů nebo informačních toků přes komunikační linku kombinováno do jediného komplexního signálu. LCC tedy zodpovídá i za jejich demultiplexování při příjmu, kdy naopak jednotlivé signály obnovuje do příslušných linek. [4], [5]

3.1 Fyzické rozhraní bezdrátových přenosů

Nejnižše položenou vrstvou je vrstva fyzická. Ta realizuje samotné vysílání a příjem dat bezdrátovou sítí. V případě, že bezdrátová síť vychází ze standardů 802.11, je na této vrstvě definováno několik přenosových mechanismů – jejich výčet společně s maximálně dosažitelnými přenosovými rychlostmi lze vidět v tabulce 2. [3]

Tabulka 2 Přehled Wi-Fi standardů [3]

Standard	Přenosový mechanismus	Frekvence	Podporovaná přenosová rychlost [Mbit/s]
802.11	FHSS, DSSS, IR	2,4 GHz	1; 2
802.11b	DSSS	2,4 GHz	1; 2; 5,5; 11
802.11g	OFDM	2,4 GHz	6; 9; 12; 18; 24; 36; 48; 54
802.11a/h	OFDM	5,2 – 5,5 GHz	6; 9; 12; 18; 24; 36; 48; 54

Ve všech standardech 802.11 je fyzická vrstva rozdělena do dvou podvrstev – PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) a PMD (Physical Medium Dependent).

V prvním případě se k datovým rámcům MAC (Medium Access Control) podvrstvy přiřkládají informace o použitém přenosovém mechanismu a modulaci. Přenášený datový rámec je rovněž nezávislý na typu fyzické vrstvy. Do PLCP podvrstvy je kromě toho implementována funkce CCA (Clear Channel Assessment) poskytující odezvu pro MAC vrstvu o připravenosti přenosového média.

Podvrstva PMD zodpovídá za přenos dat mezi jednotlivými vysílači a přijímači. Z podvrstvy PLCP jsou data v závislosti na zvoleném přenosovém mechanismu ve vysílači vysílána do bezdrátového prostředí. Tam jsou na straně přijímače pomocí PMD přijímána a předávána podvrstvě PLCP. [3]

3.1.1 Přenosové mechanismy

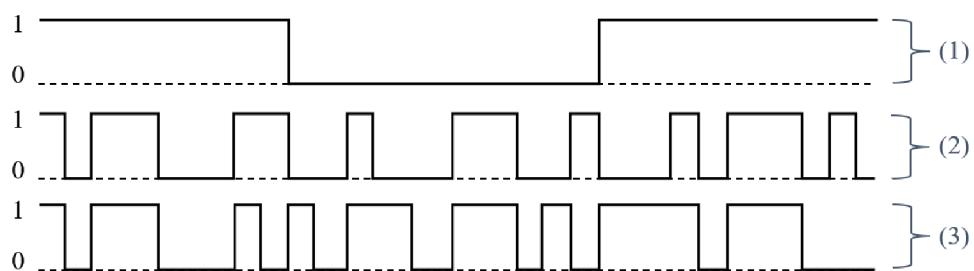
V současnosti existují dva druhy bezdrátových systémů – SC (Single Carrier) systémy používající jednu nosnou vlnu a systémy MC (Multi Carrier), které používají více nosných vln. Nejčastějším zástupcem SC systému je přenosový mechanismus DSSS či FHSS. U MC systému to je pak mechanismus OFDM. [2]

Standard 802.11 umožňuje taktéž přenos i pomocí infračervených vln (IR), na rozdíl od svých nástupců, což se však příliš nerozšířilo. Hlavní příčinou byl malý dosah, nízká rychlost přenosu (do 2 Mbit/s), a ani nebylo možné překlenout překážky. [3]

3.1.1.1 DSSS

Z anglického „Direct Sequence Spread Spectrum“, jedná se o systém s přímým rozprostíráním spektra, k čemuž dochází přidáním redundantních informací do přenášených dat. Rozprostřený signál není tak náchylný k chybám způsobených během přenosu přes rádiové rozhraní. Způsob rozprostírání spektra je naznačen na obrázku 2. [2]

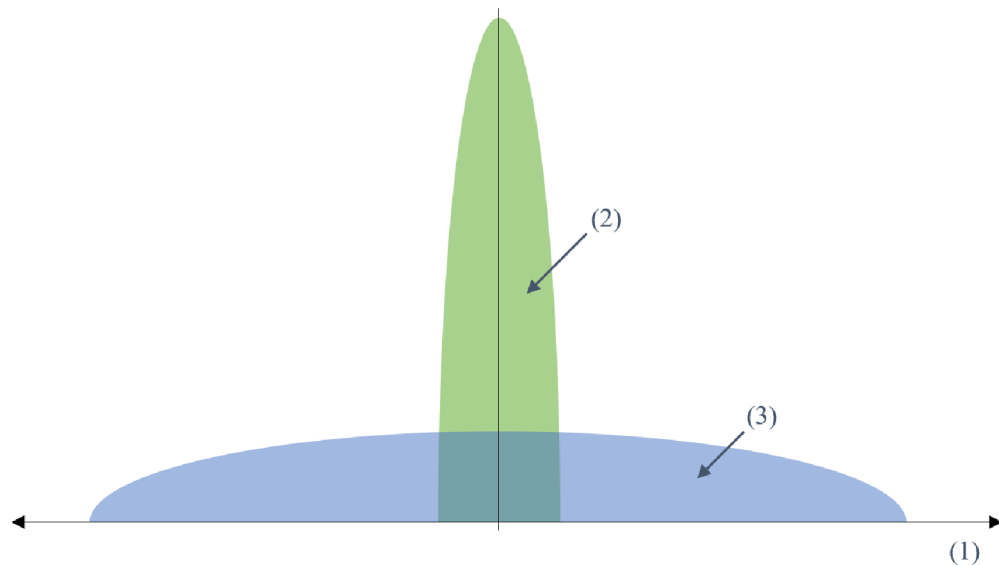
Obrázek 2 Princip DSSS



1 – vstupní data, 2 – rozprostírací pseudonáhodný kód, 3 – rozprostřený signál

Provádí se zkombinováním každého bitu přenášené informace převodem pomocí funkce XOR s tzv. rozprostírací posloupností – pseudonáhodným numerickým kódem. Bity této posloupnosti se nazývají čipy a jejich čipová rychlost je obvykle podstatně vyšší oproti bitové rychlosti přenášených dat. Takto rozprostřená posloupnost je modulována na nosnou frekvenci a přenášena přes rádiové prostředí. Tento princip lze vidět na obrázku 3. [2]

Obrázek 3 Princip rozprostření spektra [2]

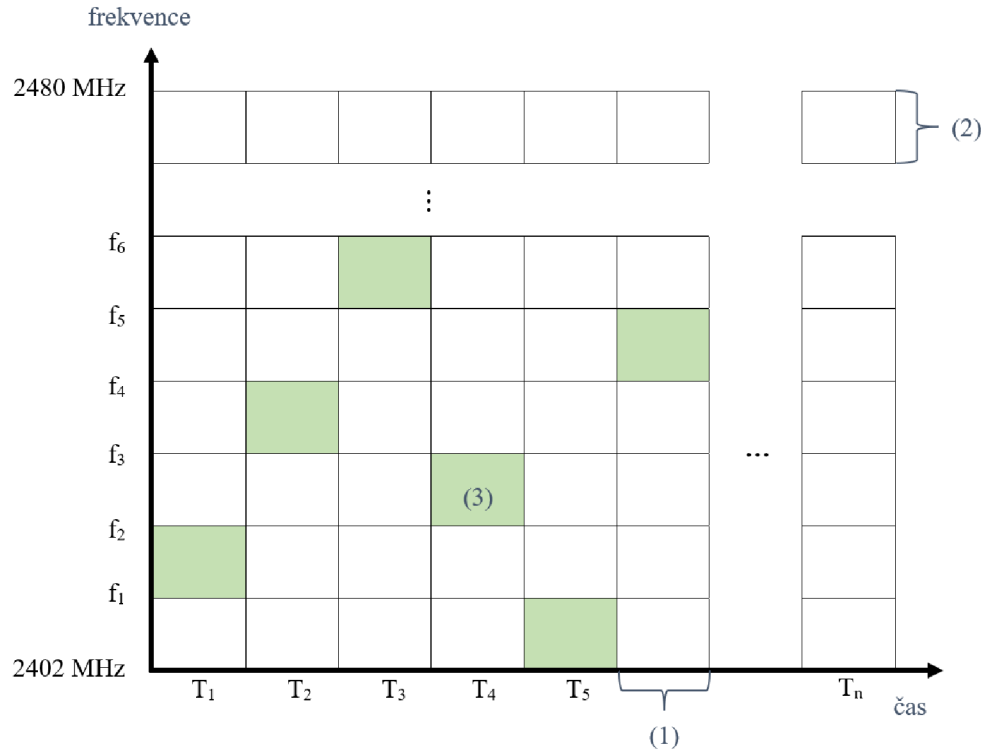


1 – frekvence, 2 – spektrum datového signálu, 3 – datový signál v rozprostřeném spektru

3.1.1.2 FHSS

System s rozprostíráním spektra pomocí frekvenčního skákání FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), ilustrovaný na obrázku 4, spočívá v tom, že vstupní datová posloupnost je vysílána na několika frekvencích, a ty jsou měněny podle pseudonáhodné posloupnosti. Je nutné, aby tato posloupnost byla známá pro vysílací i přijímací stranu, a aby byla v obou zařízeních synchronizována. Frekvenční skákání lze realizovat dvěma způsoby – buď jako rychlé frekvenční skákání FFHSS (Fast Frequency Hopping Spread Spectrum) anebo jako pomalé frekvenční skákání SFHSS (Slow Frequency Hopping Spread Spectrum). U pomalého frekvenčního skákání je rychlost pseudonáhodné posloupnosti pomalejší oproti rychlosti posloupnosti datové. Několik bitů datové posloupnosti je odesláno na jedné frekvenci, pak přeskóčí na jinou, a odsud je odesláno opět několik bitů. V opačném případě se pak jedná o rychlé frekvenční skákání. Rychlost pseudonáhodné posloupnosti je vyšší než rychlost datové posloupnosti, a jeden bit datové posloupnosti je vysílán hned na několika frekvencích.

Obrázek 4 Princip FHSS [6]



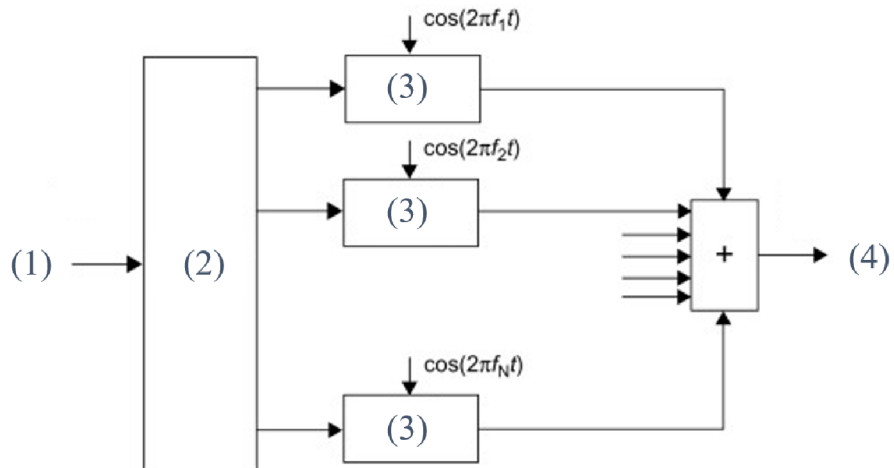
1 – doba přeskočku, 2 – šířka pásma (1 MHz), 3 – data

Největší výhodou tohoto přenosového mechanismu je velká odolnost vůči rušení. Nevýhodou je malá přenosová rychlost, produkce značného rušení okolních systémů operujících ve stejném pásmu – skákání mezi kmitočty působí jako impulsní rušení. V jedné oblasti je možné provozovat maximálně 20 stanic založených na FHSS. [2]

3.1.1.3 OFDM

Ortogonalní frekvenční multiplex – OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), jehož základní koncepce je zobrazena na obrázku 5, je založen na převodu vstupního vysokorychlostního sériového datového toku na několik pomalejších paralelních datových toků, které jsou následně modulovány na řadu sub-nosných vln a přenášeny k přijímači, kde se demodulují opačným postupem, a převedou se na vysokorychlostní sériový signál.

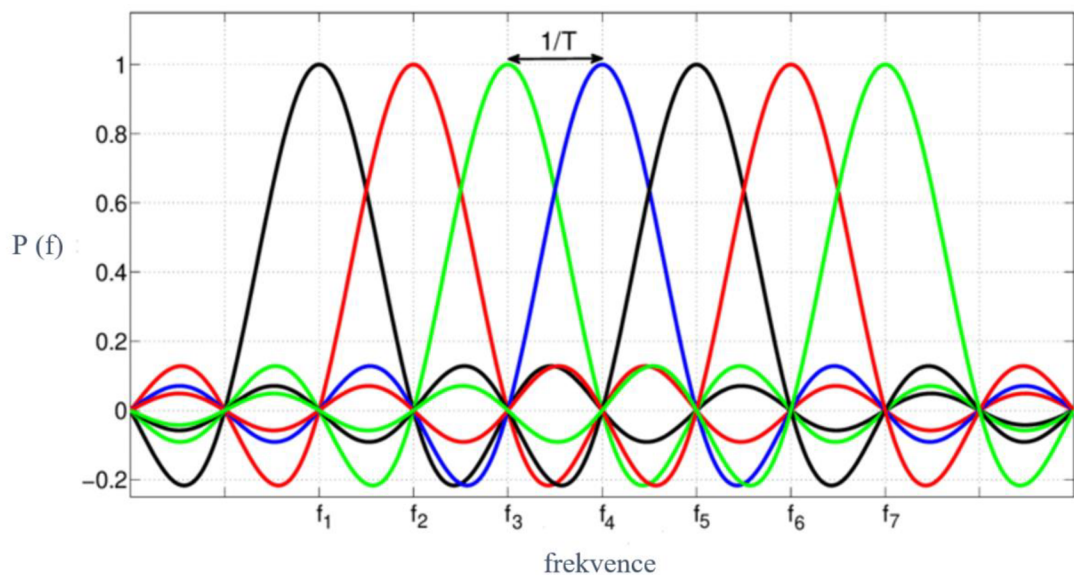
Obrázek 5 Koncepce mechanismu OFDM [7]



1 – vstupní data, 2 – sériově paralelní převodník, 3 – modulátory, 4 – OFDM signál

Na vstup je přiveden sériový binární datový tok, který se následně v sériově paralelním převodníku cyklicky dělí do většího počtu paralelních složek. Soustava všech paralelních modulačních symbolů vytváří OFDM symbol, jehož jednotlivé složky se modulují na soustavu sub-nosných vln, které jsou pak k přijímači vyslány. Tyto vlny se vzájemně neovlivňují, jelikož vytvářejí ortogonální soustavu. Překryv sub-nosných vln lze vidět na obrázku 6, kde je každá vlna odlišena jinou barvou. [2]

Obrázek 6 Princip OFDM [8]



Reálně však ortogonalitu nelze dosáhnout realizací modulátoru podle obrázku 5. OFDM modulátor se realizuje digitálně pomocí signálového procesoru, který využitím inverzní Fourierovy transformace převádí signál z frekvenční oblasti na signál v časové oblasti.

Rozložením přenášené informace do řady sub-kanálů lze docílit zřetelného potlačení vlivů interferencí. K těm dochází vícecestným šířením signálu, jež je způsobeno odrazem od překážek. Mechanismus má však i nevýhody. Největší z nich je citlivost na jitter sub-nosných vln, které se nacházejí velice blízko sebe. Jitter určuje stabilitu internetového připojení, jelikož vyjadřuje kolísání rychlosti odezvy, tedy hodnoty ping. Čím vyšší je jeho hodnota, tím je připojení méně stabilní. Další nevýhodou je potřeba zesilování OFDM signálů v lineárních zesilovačích, jelikož obálka časového průběhu signálu tohoto přenosového mechanismu není konstantní – připomíná průběh gaussovského šumu. To vede k velkému ztrátovému výkonu koncových zesilovačů. [2], [9]

3.2 Rozdělení bezdrátových sítí

V tabulce 3 je možné vidět, že počítačové sítě lze rozdělit podle rozsahu i jejich prostorového dosahu, avšak hranice nejsou pevně definované a mohou se volně prolínat. [10]

Tabulka 3 Rozdělení sítí podle rozsahu [10]

Typ sítě	Vzdálenost bodů	Prostorový dosah
BAN	centimetry	centimetry až dotek
PAN	metry	metry
LAN	desítky metrů až kilometry	místnost až celá budova, příp. skupina budov
MAN	desítky kilometrů	město
WAN	stovky až tisíce kilometrů	stát, kontinent

3.2.1.1 BAN (Body Area Network)

Síť s nejmenším dosahem – řádově centimetry a méně. Bezdrátová komunikace probíhá mezi několika miniaturními senzory, které jsou implantovány např. do lidského těla, a uzlem nošeným na těle, jenž data uchovává, eventuálně je prostřednictvím jiné sítě odesílá dále. Tento typ sítě se využívá kupříkladu pro sledování zdravotního stavu, případně i k odeslání těchto dat lékaři. [10]

3.2.1.2 PAN (Personal Area Network)

Jedná se o malou osobní síť spojující zařízení na krátkou vzdálenost, snadno dosažitelnou jedním uživatelem a sloužící jeho potřebám. V případě bezdrátového provedení WPAN využívá k přenosu dat technologie Wi-Fi, Bluetooth či např. infračervený port (IrDA). Síť PAN nachází využití zejména k připojení klávesnic, myši, tiskáren či mobilních telefonů nebo třeba handsfree sad a dalších zařízení. Technologie integrovaná do ovladačů pro bezdrátové připojení společnosti Intel umožňuje osobní bezdrátové síti jednoduše změnit nastavení a konfiguraci. [10] – [12]

Mimoto i bezdrátový systém ZigBee podporuje PAN aplikace. Jde o otevřený protokol bezdrátové komunikace umožňující jednotlivým přístrojům chytré domácnosti vzájemnou komunikaci. Dokáže rozpoznat polohu uživatele a může např. automaticky rozsvítit světlo, spustit topení, nastavit žaluzie do libovolné polohy, aj. Je také možné propojit zařízení různých výrobců, a přitom zachovat jejich kompatibilitu. [12], [13]

3.2.1.3 LAN (Local Area Network)

Lokální síť propojující zařízení (nejčastěji počítače, servery, tiskárny a síťová úložiště) v prostoru v rozmezí desítek či stovek metrů. Jedná se tedy např. o domácnost, kancelář nebo budovu. Hlavním účelem LAN sítě je umožnit zařízením vzájemnou komunikaci a sdílení dat. WLAN, tedy bezdrátová realizace této sítě, je skupina zařízení, tvořící síť založenou na rádiovém přenosu, tudíž i Wi-Fi je typem sítě WLAN. [10], [14]

3.2.1.4 MAN (Metropolitan Area Network)

Metropolitní síť propojuje lokální sítě LAN a vymezuje prostor mezi sítěmi LAN a WAN. Organizace, které potřebují propojit v rámci jednoho města, často používají tuto síť – typickým příkladem jsou univerzity, nemocnice či vládní agentury, ale také poskytovatelé internetových služeb, kteří poskytují přístup k internetu pro větší počet zákazníků. Ve skutečnosti její význam ale není tak výrazný, neboť se jedná spíše o lokální síť

rozprostřenou na větším prostoru, než jaký je pro LAN typický. Uživatelé MAN sítě za přístup obvykle platí, oproti LAN, jež bývá využívána především zaměstnanci vlastníka. [10], [15]

Bezdrátové metropolitní sítě (WMAN) jsou typem bezdrátové sítě spojující několik bezdrátových lokálních sítí WLAN. Příkladem bezdrátové MAN sítě je technologie WiMAX, definovaná standardem IEEE 802.16, která oproti Wi-Fi dosahuje mnohem větších vzdáleností – až desítky kilometrů. V dnešní době se ale, ať už z legislativních či finančních důvodů, již prakticky téměř nepoužívá. [12], [15]

3.2.1.5 WAN (Wide Area Network)

Rozlehlá síť propojující zařízení v rozsáhlé oblasti jako jsou například města nebo dokonce celé státy. Je tvořena hlavním komunikačním kanálem označovaným jako páteř (backbone), pro kterou je typická vysoká rychlost přenosu. Propojení je realizováno optickým kabelem, ale i bezdrátové propojení je možné díky satelitnímu spojení – síť WWAN. Čím je síť rozlehlejší, tím v ní bývá vyšší přenosové zpoždění. WAN sítě slouží k připojení poboček kanceláří nebo jako veřejný přístupový systém. [12], [15]

V dnešní době se stále častěji uvádí pojem GAN (Global Area Network), tedy globální síť propojující zařízení po celém světě za použití satelitní technologie umožňující prakticky neomezenou komunikaci, co se dosahu týče. Nejtypičtějším příkladem této sítě je internet – vzájemné propojení enormního množství jinak samostatných sítí, v němž má uživatel jakékoli síť přístup k informacím ostatních sítí. [10], [15]

3.3 Vlastnosti bezdrátových sítí

V porovnání s pevnými sítěmi nabízejí bezdrátové sítě řadu výhod. Poskytují připojení i bez potřeby stavebního zásahu a budování podpurné kabeláže, což navíc snižuje celkové náklady. Bezdrátové sítě jsou snadněji konfigurovatelné, flexibilní a integrace nových zařízení do již fungující sítě je velmi jednoduchá a rychlá. [1]

Aplikace bezdrátových sítí však nese i několik nevýhod.

3.3.1 Stabilita

Stabilita je u bezdrátového připojení pravděpodobně nejdůležitějším parametrem. Bývá zpravidla nižší oproti kabelovým sítím, avšak při správné instalaci může nabývat srovnatelných hodnot. Se stabilitou je spojena i latence (odezva), která ukazuje, jak dlouho trvá komunikace zařízení s internetovými servery. Tento parametr je zpravidla počítán v milisekundách a vyjadřuje časový úsek, po který datový paket putuje z místa vyslání do cílového umístění. Velmi důležité je také kolísání latence neboli jitter, jelikož právě jeho hodnota může často ukázat skutečnou stabilitu připojení. [16], [17]

3.3.2 Rychlost

Nejžádanějším atributem je vedle stability i rychlost. Ta je v porovnání s kabelovými sítěmi výrazně nižší a normy udávající maximální teoreticky dosažitelné rychlosti jsou ve skutečnosti víceméně těžko dosažitelné kvůli podstatně horší dostupnosti signálu mezi radiovými stanicemi. Na větší vzdálenosti či při zastínění rychlost okamžitě klesá – někdy až o čtvrtinu nebo dokonce až o polovinu. Ke snížení rychlosti také dochází v případě, že je na stejný přístupový bod připojeno více příjemců. Musejí se o kapacitu linky dělit rozbočovačem, což vede ke kolizím. [12]

3.3.3 Bezpečnost

Komunikace v rámci bezdrátové sítě není obecně tak bezpečná oproti kabelové síti. Proto je v dnešní době téměř každý router vybaven řadou nástrojů pro zabezpečení sloužící k zamezení přístupu neoprávněných uživatelů do sítě.

3.3.3.1 SSID

SSID (Service Set ID) představuje jméno přístupového bodu, které stanice musí znát, aby měly přístup do sítě, a je tak logickým identifikátorem určité bezdrátové podsítě. Informaci o SSID přístupový bod vysílá periodicky, příp. může být toto vysílání vypnuto a klient se na identifikátor sám dotazuje, příp. jej lze nastavit manuálně na stanici. [12], [18]

3.3.3.2 WEP

WEP – z anglického „Wired Equivalent Privacy“. Jedná se o dnes již zastaralé zabezpečení bezdrátových sítí podle standardu IEEE 802.11, jehož cílem bylo poskytnout zabezpečení obdobné kabelovým sítím, jelikož rádiový signál lze lehce odposlouchávat i na větší vzdálenosti bez nutnosti fyzického kontaktu s počítačovou sítí. WEP bylo v roce 2002 nahrazeno novějším zabezpečením WPA. [12]

3.3.3.3 WPA

Označení „Wi-Fi Protected Access“ nese zabezpečení pro Wi-Fi sítě definované v roce 2002 organizací Wi-Fi Alliance, jako část tehdy připravovaného standardu IEEE 802.11i. [12]

3.3.3.4 WPA2

Implementuje všechny povinné prvky standardu IEEE 802.11i. Oproti starším zabezpečením WEP nebo WPA používající proudovou šifru RC4, používá blokovou šifru AES (Advanced Encryption Standard). [12]

3.4 Standard 802.11

Jedná se o skupinu standardů definujících bezdrátovou síť. V roce 1997 s ní přišel mezinárodní standardizační institut IEEE, plným názvem Institute of Electrical and Electronics Engineers, a neustále ji doplňuje o další pracovní podskupiny, zabývající se změnami a rozšířeními. [18] Bezdrátová síť definována v tomto standardu disponuje maximální přenosovou rychlostí 2 Mbit/s. [3]

Standard 802.11 byl původně vyvíjen jako obdoba lokálních sítí LAN, jejichž rozloha nepřekročila hranice budovy, a u kterých provoz ve venkovním prostředí nepřicházel v úvahu. Směr vývoje přirozeně vycházel z požadavků uživatelů. To se projevilo ve standardech 802.11a a 802.11g, jež lze provozovat ve venkovním prostředí, kde velikost sítě není v desítkách metrů, ale v jednotkách kilometrů, a tudíž nejsou do určité míry limitovány ani rozlohou. [3]

6. prosince 1999, nedlouho po vydání prvního standardu, vznikla certifikační autorita WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance). Jejím hlavním účelem je testování interoperability¹ bezdrátových zařízení různých výrobců mezi sebou. Dále prosazování otázek bezpečnosti, které jsou důležité pro vývojáře, výrobce a uživatele bezdrátových sítí a uplatňování Wi-Fi jako standard při nasazování bezdrátových sítí LAN ve všech tržních segmentech. Společnost definovala sadu testů, na jejichž základě jsou produkty testovány nezávislou testovací laboratoří The Silicon Valley Networking Lab Inc. [19]

Společnost WECA roku 2003 změnila své jméno na Wi-Fi Alliance a pod tímto názvem vystupuje dodnes. Wi-Fi Alliance vydává osvědčení „Wi-Fi CERTIFIED“ – mezinárodně uznávané označení pro produkty splňující průmyslově schválené standardy interoperability, zabezpečení a dalších aplikačních protokolů. Takto označená zařízení pracují v rámci standardů 802.11 a jsou schopna spolupracovat se zařízeními ostatních výrobců nesoucích toto osvědčení. Certifikovaná zařízení jsou opatřena značkou uvedenou na obrázku 7. [3], [20]

Obrázek 7 Wi-Fi Alliance certifikace [20]



Překonáním přenosové rychlosti 10 Mbit/s se bezdrátové sítě LAN začaly přesouvat mezi rozšířenější kategorie produktů, což přirozeně zvýšilo poptávku v podnicích, kancelářích a domácnostech, a tím se automaticky zvýšila i potřeba interoperability více dodavatelů. [19]

3.4.1 Standard 802.11a

Nezastavitelný vývoj vedl k tomu, že v roce 1999 byl vydán standard 802.11a, jenž pracuje ve frekvenčním pásmu 5 GHz. Místo přenosového mechanismu DSSS využívá novějšího OFDM umožňující paralelní přenos dat v rámci přidělených sub-kanálů, což zvyšuje odolnost

¹ Schopnost systémů vzájemně si poskytovat služby a tím efektivně spolupracovat

vůči rušení a zároveň poskytuje vyšší propustnost. Díky odlišné pracovní frekvenci a nové přenosové metodě může tento standard pracovat s čistějším signálem, a tedy i s vyššími přenosovými rychlostmi až 54 Mbit/s. Při nepříznivých podmínkách je využito nižších rychlostí přenosu, konkrétně 48 Mbit/s, 36 Mbit/s, 24 Mbit/s, 18 Mbit/s, 12 Mbit/s nebo 6 Mbit/s. [1]

3.4.2 Standard 802.11b

Jedná se o zásadní vylepšení původního standardu k navýšení přenosových rychlostí. Byla zavedena nová metoda přenosu – technika přímého rozprostřeného spektra DSSS, díky které je nově možné dosáhnout rychlostí přenosu 11 Mbit/s (pouze za ideálních podmínek) a 5,5 Mbit/s, využívající rovněž kmitočtového pásma 2,4 GHz, příp. se nabízí využití rychlosti prvotního standardu 802.11, tedy 2 Mbit/s a 1 Mbit/s. [1]

3.4.3 Standard 802.11g

Velké rozšíření pro 2,4 GHz přinesl standard 802.11g, jenž zvýšil maximální teoretickou přenosovou rychlost na 54 Mbit/s. Používá přenosový mechanismus OFDM nebo starší DSSS z důvodu kompatibility se starším standardem 802.11b, což ale může vést ke snížení propustnosti celé sítě v případě, že se v ní objeví starší zařízení pouze se standardem 802.11b. [21]

3.4.4 Standard 802.11n

Tento standard nese pracovní označení Wi-Fi 4. Využívá techniky MIMO (Multiple Input Multiple Output), která díky integraci většího počtu antén do vysílače i přijímače zvyšuje datovou propustnost. Může navíc využívat obou frekvenčních pásem – 2,4 GHz nebo 5 GHz. Díky integraci této techniky se tedy mnohonásobně zvýšila přenosová rychlost (z 54 Mbit/s až na teoretických 600 Mbit/s) a vylepšil se taktéž dosah (až 250 m). [1]

3.4.5 Standard 802.11ac

Pracovní podskupina standardu 802.11n, označována také jako Wi-Fi 5, která jej vylepšuje o výrazně vyšší propustnost a více jak dvojnásobnou teoretickou rychlost (1,3 Gbit/s). Pracuje na frekvenci 5 GHz a využívá tzv. „beamforming“, tedy tvarování vyzařovaného diagramu. [1]

3.4.6 Standard 802.11ax

Kvůli stále vyšším nárokům uživatelů musel být zaveden standard využívající nelicencované pásmo 6 GHz, který se někdy označuje jako Wi-Fi 6E. Provoz v tomto pásmu řeší nedostatek spektra Wi-Fi tím, že poskytuje přilehlé bloky spektra, které pojmu až 14 dodatečných kanálů o frekvenční šířce 80 MHz nebo 7 dodatečných kanálů s šířkou 160 MHz. To nachází využití pro aplikace s větší šířkou pásma, které vyžadují rychlejší datovou propustnost, tedy např. virtuální realita či streamování videa ve vysokém rozlišení. Jsou také potřebné pro cloud computing, tedy doručování výpočetních služeb přes internet [22], a teleprezenci². Zařízení Wi-Fi 6E taktéž využívají dodatečné kapacity k zajištění vyššího výkonu sítě a umožňují připojení většího počtu uživatelů najednou, a to i ve velmi hustém a přetíženém prostředí. [23]

3.5 Bluetooth

První osobní bezdrátovou sítí PAN byl radiový systém Bluetooth – jeho první verze byla veřejně k dispozici v roce 1999. Jedná se o alternativní bezdrátovou síťovou technologii založenou na standardu 802.15.1 a její vývoj byl odlišný oproti rodině standardů 802.11. Vyznačuje se malými nároky na spotřebu energie a výrobní náklady hardwaru. Jednou z hlavních předností této technologie je obrovská vývojářská flexibilita. Jelikož se Bluetooth řadí mezi PAN sítě, komunikace probíhá na velmi krátký dosah s relativně malou přenosovou rychlostí, a využívá režimu „bod – bod“.

Technologie Bluetooth pracuje v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz, využívá ale přenosového mechanismu FHSS, tedy rozprostírání spektra pomocí frekvenčního skákání, na rozdíl od standardu 802.11b využívajícího techniku přímého rozprostřeného spektra DSSS. Signál náhodně přeskakuje mezi 79 kanály o šířce 1 MHz a těchto přeskoků je v jediné vteřině až 1600. Vrcholná rychlost přenosu na fyzické vrstvě dosahuje 1 Mbit/s, nicméně skutečná datová propustnost se pohybuje okolo 720 kbit/s. [24], [25]

² Technologie umožňující dotyčnému provádět úkony na vzdáleném, příp. virtuálním místě, jako by na něm byl fyzicky přítomen [40]

Bluetooth však nabízí i druhou technologickou variantu, a tou je Bluetooth LE (Low Energy). Jedná se o návrh pro provoz s velmi nízkou spotřebou energie. Data jsou přenášena rovněž metodou FHSS prostřednictvím 40 kanálů o šířce 2 MHz ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz. Tato varianta navíc pomáhá vytvářet rozsáhlejší sítě za podpory dalších komunikačních topologií.

Bluetooth se v dnešní době používá především k bezdrátovému přenosu zvuku a stal se standardním prostředkem pro bezdrátové reproduktory, sluchátka a automobilové systémy. Technologie LE byla původně známá díky svým komunikačním schopnostem a nyní je široce využívána taktéž pro určování polohy zařízení, jako reakce na rostoucí poptávku po službách určování polohy s vysokou přesností uvnitř budovy – LE zahrnuje funkce umožňující zařízení určit přítomnost, vzdálenost a směr jiného zařízení. [26]

4 Výběr a porovnání nelicencovaných bezdrátových přenosů

Zařízení Wi-Fi lze provozovat v tzv. ISM (Industrial, Scientific, Medical) pásmech – celosvětově rozšířená bezlicenční frekvenční pásma, která se nacházejí na frekvencích 900 MHz, 2,4 až 2,48 GHz a 5,1 až 5,8 GHz. V České republice vymezuje provoz generální licence Českého telekomunikačního úřadu VO-R/12/08.2005-34. [3]

Nelicencovaná, nebo také bezlicenční pásma jsou takové části frekvence, jejichž využívání nevyžaduje licenci, ale je potřeba dodržovat podmínky ČTÚ, za nichž lze příslušné kmitočty a kmitočtová pásma využívat, např. přípustné vysílací výkony a další parametry. Oproti tomu k využívání licenčních pásem je potřebná licence od ČTÚ, jenž ji na žádost a za poplatek přidělí, případně existuje-li více zájemců, je licence přidělena v soutěži. [27], [28]

4.1 Pásmo 2,4 GHz

V tomto pásmu pracuje mnoho různých bezdrátových zařízení jako například bezdrátové kamery, železniční aplikace, zařízení Bluetooth, ale i mikrovlnné trouby a v zahraničí i bezdrátové telefony – v naší zemi jejich provoz není povolen.

Český telekomunikační úřad povoluje využívání plného frekvenčního spektra 2,4 – 2,4835 GHz, tedy 1 – 13 kanálů, obdobně jako ve většině evropských zemích. V některých státech ale není povolené využívání plného frekvenčního rozsahu, např. ve Francii je povolený rozsah 2,4465 – 2,4835 GHz či v Japonsku je pásmo limitováno na 2,471 – 2,497 GHz. V některých státech je naopak povoleno využití i 14. kanálu. Nedodržování stanoveného výkonu řeší Státní kontrola elektronických komunikací. [18], [27], [29]

Jak vyplývá z IEEE standardů, pásmo o frekvenci 2,4 GHz dosahuje zpravidla nižších přenosových rychlostí. Přenos signálu přes překážky (zdi, stropy, nábytek) je však lepší než u přenosu na frekvenci 5 GHz, a taktéž dosah signálu je o něco větší. [30]

V dnešní době je však toto pásmo přetížené, což je způsobeno velkým množstvím routerů ve velké blízkosti – typicky v panelákových sídlištích. To způsobuje zahlcení celého pásma, což se projevuje pomalým a nespolehlivým chodem internetu. Mimo routerů je však pásmo používáno i velkým množstvím elektronických zařízení a spotřebičů jako je např. mikrovlnná trouba, bezpečnostní kamera či otevírání garážových vrat. [31], [32]

4.2 Pásmo 5 GHz

Od roku 2005 je možné využívat k provozu i oblast 5 GHz volného kmitočtového pásma. Frekvenční pásmo 5,15 – 5,35 GHz je možné použít výhradně uvnitř budov, pásma o frekvenci 5,470 – 5,725 GHz a 5,725 – 5,875 GHz lze využít ve venkovním prostředí. Provozovatel radiového zařízení je povinen dodržovat režim vysílání odpovídající všeobecnému oprávnění případným snížením výkonu zařízení.

Tato legislativní změna přinesla možnost legálního použití řady bezdrátových spojů pracujících v pásmu 5 GHz s předpokládanou rychlostí přenosu až 54 Mbit/s, oproti předchozímu standardu 802.11b s teoretickou přenosovou rychlostí 11 Mbit/s. [29]

Díky výrazně většímu použití frekvenčního spektra vzniká 36 – 165 dostupných kanálů, tudíž pásmo 5 GHz není tak přeplněné, jako 2,4 GHz, a k rušení dochází zřídka. Je tedy možné dosáhnout vyšších přenosových rychlostí a připojení je stabilnější. Signál má ale kratší dosah a hůře prochází skrz překážky. Použití tohoto pásma nachází využití zejména pro činnosti vyžadující vyšší propustnost dat, jako je např. videokonference nebo hraní online her.

Většina moderních zařízení zpravidla funguje dvoupásmově, tzv. „dual band“, což umožňuje přenos na obou těchto frekvencích. [30], [32]

4.3 Porovnání pásem

Hlavní rozdíl mezi pásmy 2,4 GHz a 5 GHz je tedy v rychlosti a dosahu pokrytí. Čím vyšších hodnot frekvence dosahuje, tím vyšší je rychlost, ale tím kratší je dosah. Jak lze vidět v tabulce 4, každé pásmo má své přednosti a záleží na preferenci uživatele, které upřednostní. [32], [33]

Tabulka 4 Porovnání frekvenčních pásem 2,4 GHz a 5 GHz

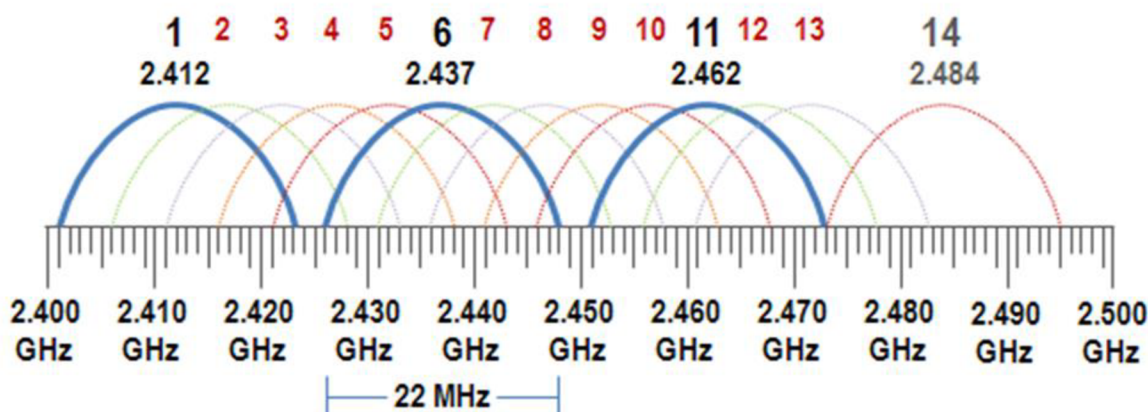
vyšší přenosová rychlost	5 GHz
menší náchylnost k rušení	5 GHz
větší oblast pokrytí	2,4 GHz
lepší průchodnost signálu přes překážky z pevných materiálů	2,4 GHz

5 Problematika pásem bezdrátových přenosů

Bezdrátový přenos bude vždy méně spolehlivý oproti kabelovému přenosu, byť i v relativně dobrých podmínkách může Wi-Fi poskytovat slušnou rychlost i stabilitu. [31]

Pro Českou republiku je v pásmu 2,4 GHz definováno 13 kanálů o šířce 22 MHz. Router si ke komunikaci vyhradí určité pásmo o šířce 20, příp. 40 MHz – přesahuje tedy i do dalších kanálů. Velikost přesahu se odvíjí na šířce kanálu, kterou router využívá. Jak je z obrázku 8 patrné, středy jednotlivých kanálů jsou od sebe pouze 5 MHz, a v celém pásmu jsou pouze tři nepřekrývající se kanály (1, 6 a 11), tedy teoreticky pouze tři sítě, u kterých nedochází ke vzájemnému rušení. [3], [31]

Obrázek 8 Rozprostření kanálů v pásmu 2,4 GHz [34]



K tomuto ideálnímu případu, tedy obsazení pouze tří kanálů, ve skutečnosti nedochází často. V hustě obydlené zástavbě téměř nikdy, naopak je koncentrace bezdrátových sítí vysoká a ke vzájemnému rušení dochází prakticky neustále, což má za následek pokles užitečného dosahu, dochází k mikrovýpadkům a ke kolísání přenosové rychlosti.

K omezení těchto interferencí slouží funkce automatické volby kanálu, kterou je většina moderních přístrojů vybavena. Router si automaticky vybere nejvhodnější kanál, a pokud dojde k jeho rušení, sám se přepne na jiný. Bohužel při silném zarušení celého pásma může časté přepínání kanálu naopak způsobovat ještě větší nestabilitu. Proto je možné nastavit kanál napevno a router se drží na dané frekvenci i pokud je rušen okolními sítěmi. V takovém případě je vhodné si dopředu zjistit využití pásma, k čemuž může posloužit řada užitečných nástrojů, např. WiFi Analyzer. [31]

5.1 Šíření signálu

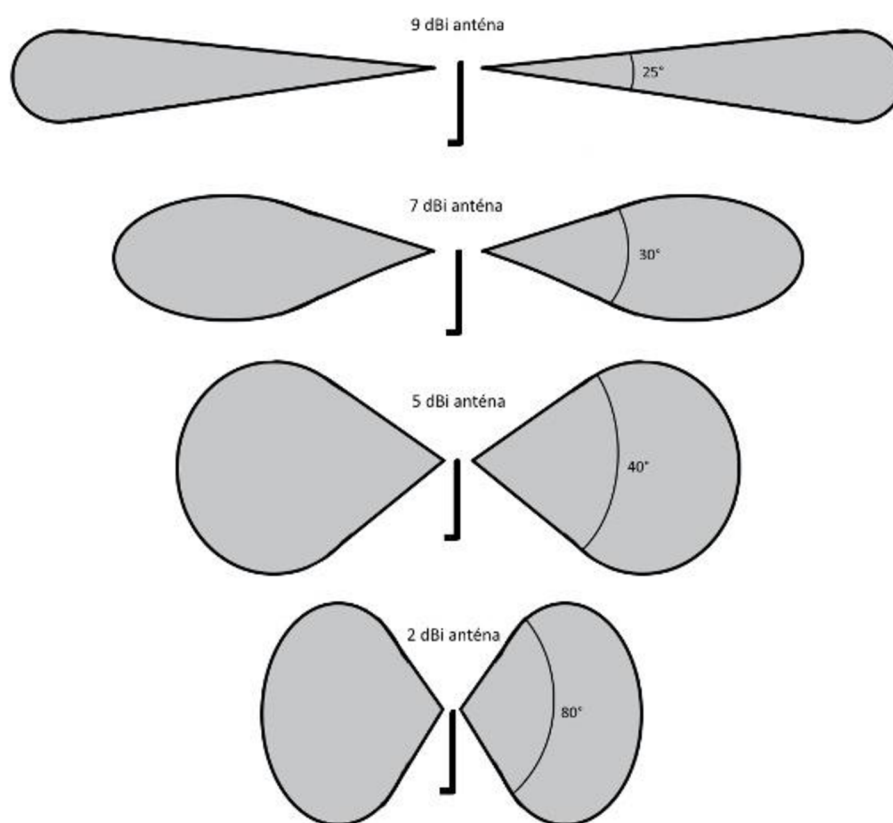
Vysokofrekvenční signál Wi-Fi má podobné vlastnosti jako světlo. Jsou materiály, jimiž signál projde bez sebemenších problémů, ale jsou i takové, od kterých se odrazí nebo jej dokonce nepropustí skrz vůbec. V kombinaci s interferencemi signálů ostatních sítí je tedy síla signálu značně ovlivněna, což vede ke snížení přenosové rychlosti i stability. Lepšího pokrytí lze dosáhnout vhodným umístěním routeru, použitím silnější antény, příp. jejím nasměrováním nebo aplikací vícero bezdrátových vysílačů. [31], [35]

5.1.1 Antény

K vyzařování signálu používají routery všesměrové antény. Důležitým parametrem je zisk antény udávaný v decibelech (dBi), který říká, jak dokáže anténa vysílat a přijímat signál. Větším počtem antén lze zvýšit rovnoměrnost pokrytí, případně jejich natočením ovlivnit oblast pokrytí. Do jisté míry je pak možné ovlivnit dosah vyzařovaného signálu. Pokud je větší počet antén i na přijímači, zvýší se i dosažitelná rychlost přenosu.

Antény s vyšším ziskem jsou obvykle větší a mají větší dosah, oblast pokrytí se však naopak zplošťuje a anténa získává horizontální směrovost, jak lze vidět na obrázku 9. Např. signál vyzařovaný z antény se ziskem 2 dBi oproti anténám s větším ziskem nedosáhne tak daleko. Je ale vyzařován nahoru a dolů – vhodné použití je tedy tam, kde je potřeba rovnoměrnějšího pokrytí (např. do více pater). Naopak signál antény se ziskem 9 dBi dosáhne mnohem dál, ale paprsek je velmi úzký (v jiném patře bude signál velice slabý). [31]

Obrázek 9 Vizualizace vyzařování antén s různými zisky [31]



Dvoupásmové routery mají zpravidla větší počet antén, obvykle 4, jelikož využívají dvě antény pro frekvenci 2,4 GHz a dvě pro frekvenci 5 GHz. [31]

5.1.2 Umístění routeru

Poloha směrovače by měla být taková, aby signál pokryl cílový prostor co nejvíce rovnoměrně. A jelikož anténa routeru vysílá všemi směry, ideálním umístěním je střed objektu. Není dobré mít router u stropu nebo na zemi – ideální je mít router ve výši ostatních přístrojů, tedy cca 1 m nad zemí. Takové umístění často není možné, je však dobré snažit se mu alespoň co nejvíce přiblížit. Někdy to naopak není nutné, např. u bytu 1+1 de facto nezáleží, jestli je router umístěn doprostřed nebo do rohu, signál by měl být dostatečný kdekoliv. [31]

5.2 Povětrnostní podmínky

Počasí má velký vliv i na rychlé bezdrátové připojení. Povětrnostní jevy, jako je déšť a sníh, na bezdrátové přenosy působí negativně, oproti těm kabelovým, které jsou vůči počasí poměrně odolné – výpadky proudu však ovlivňují oba typy připojení.

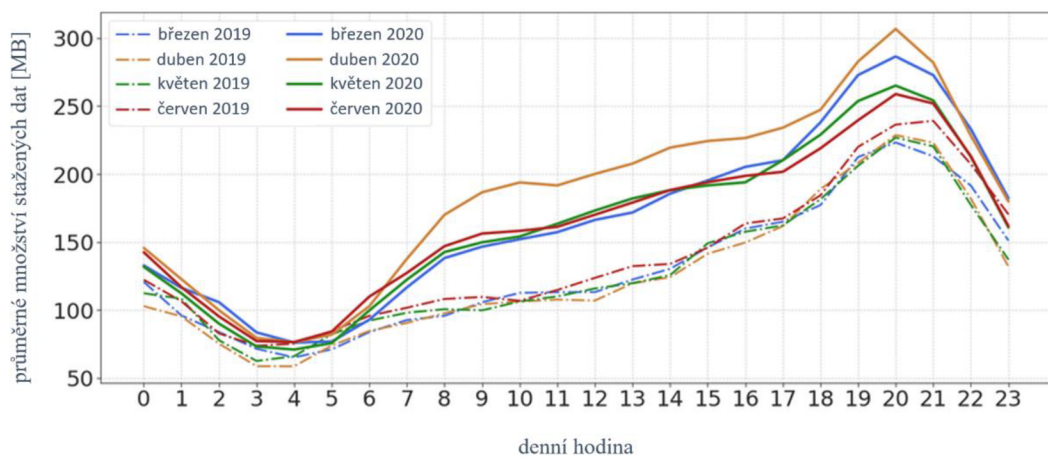
Kapalná voda má široké absorpční spektrum v mikrovlnných vlnových délkách, do kterých se řadí i bezdrátové Wi-Fi signály. Pokud je tedy mezi vysílačem a přijímačem výskyt mračka nebo deště, část signálu bude rozptýlena či absorbována. Taktéž sníh představuje problém, jelikož se může usazovat na anténách.

Ani vysoké teploty nejsou zcela příznivé pro bezdrátové přenosy. Zařízení, jako jsou počítače nebo routery, fungují lépe za nižších teplot. Přehřátí v interiéru lze zabránit přesunutím routeru mimo dosah přímého slunečního světla, příp. jej umístit i do dobře větraného prostoru. [36]

5.3 Denní špička

V případě, že mnoho uživatelů v okolí používá internet ve stejnou dobu, je možné zaznamenat pokles přenosové rychlosti i snížení stability připojení. Graf 1 porovnává průměrný objem stažených dat v různých časových intervalech. Je patrné, že denní špička je vždy mezi 18:00 – 22:00. [37]

Graf 1 Internetová špička [37]



Graf 1 mimo jiné porovnává i objem stažených dat v letech 2019 a 2020, tedy období před covidovou pandemií a období lockdownu, ve kterém byl internet využíván výrazně větším počtem uživatelů, a tudíž docházelo k častějším interferencím. [37]

5.4 Budoucnost nelicencovaných přenosů

Poptávka a ekonomická závislost na využívání nelicencovaného spektra stále roste, což vyplývá z výzkumu, který si nechala zpracovat Wi-Fi Alliance pro určení budoucích potřeb Wi-Fi. Výsledná studie tvrdí, že uživatelé celého světa začnou mezi lety 2020 až 2025 pociťovat nedostatek spektra bez globálního přístupu k dalšímu spektru. [23]

Z tohoto důvodu se začalo s celosvětovou podporou provozu IEEE standardu 802.11ax. Regulační orgány jsou si vědomy velkých výhod pásma 6 GHz a zpřístupňují ho uživatelům pro nelicencované použití. Wi-Fi Alliance spolupracuje s regulačními orgány na zpřístupnění tohoto spektra pro Wi-Fi, pomáhá zajistit interoperabilitu zařízení Wi-Fi 6E prostřednictvím testování a certifikace programu Wi-Fi CERTIFIED 6. [23]

V nejbližších letech plánuje IEEE představit standard 802.11be, označován jako Wi-Fi 7, vycházející z předešlého standardu. Tento standard zavádí neobyčejně velkou šířku pásma 320 MHz a díky efektivnější modulaci signálu a mnoha dalším funkcím poskytuje přenosovou rychlost až 46,1 Gbit/s. [38]

6 Analýza pásem bezdrátových přenosů

Tato část práce se zabývá sledováním vytiženosti jednotlivých kanálů realizovaného bezdrátového přenosu a měřením hodnot, které budou sloužit k jejich analýze, na jejichž základě se dá určit správné fungování automatického přepínání routerů.

Parametry testovaného internetového připojení:

- Router: Huawei B2368-66
- Teoretická přenosová rychlost: 30 Mbit/s
- Šířka kanálu: 20 MHz

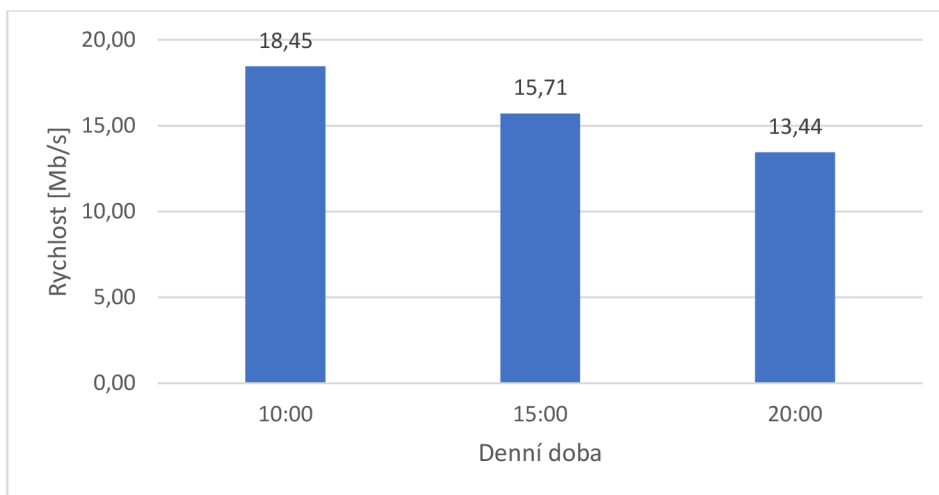
Měření probíhalo v zástavbě rodinných domů po dobu jednoho měsíce ve dnech 20. 2. 2023 až 19. 3. 2023 vždy v 10:00, 15:00 a 20:00. V tabulce 5 je uvedena pouze průměrná hodnota měření.

Tabulka 5 Průměrné naměřené hodnoty

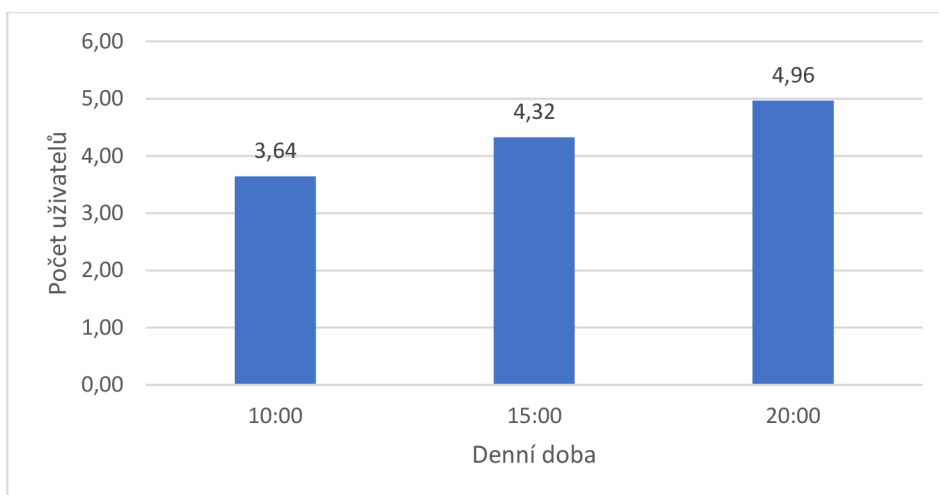
Čas	Počet dalších uživatelů používaného kanálu	Jaký nejhorší kanál router používá	Jaký nejlepší kanál router používá	Rychlost [Mbit/s]	Odezva [ms]
10:00	3,64	0,82	1,57	18,45	31,86
15:00	4,21	1,25	1,93	15,71	30,75
20:00	4,96	1,00	1,75	13,44	32,71

Grafy 2 a 3 vychází z tabulky 5. Graf 2 znázorňuje klesající trend přenosové rychlosti v závislosti na denní době. Graf 3 ukazuje zvyšující se počet dalších uživatelů používaného pásma v závislosti na denní době.

Graf 2 Přenosová rychlost v závislosti na denní době

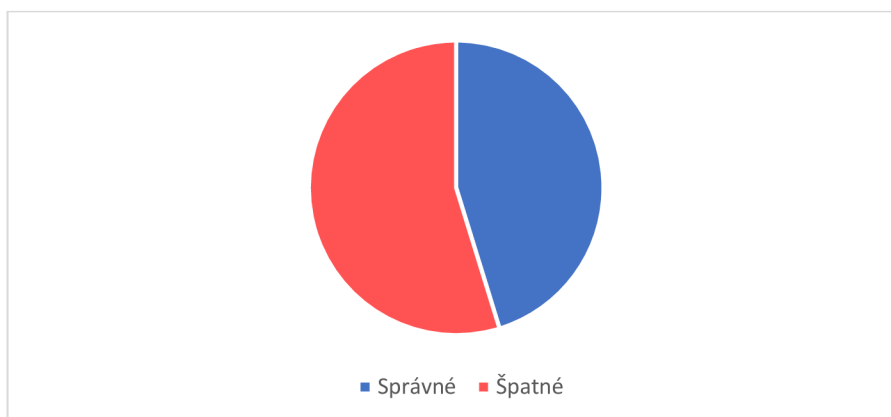


Graf 3 Počet dalších uživatelů používaného kanálu v závislosti na denní době



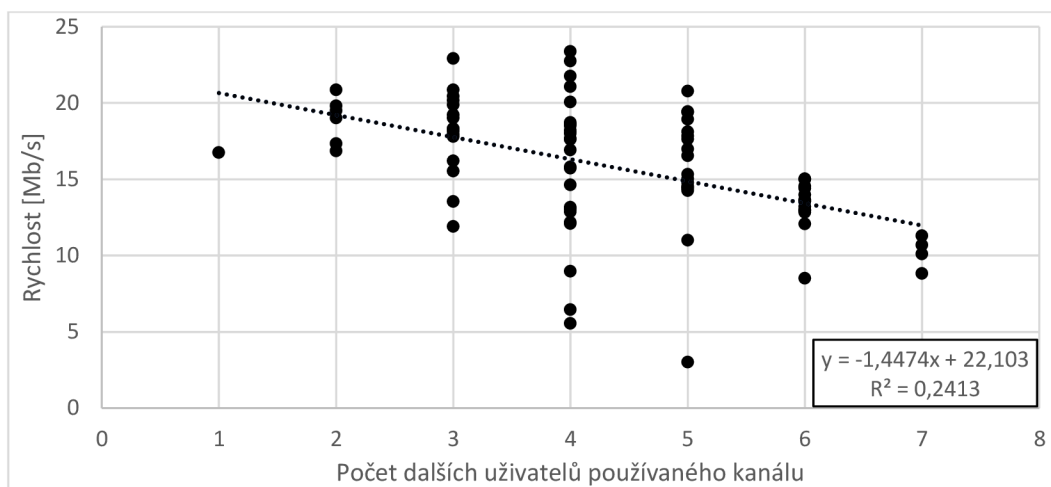
Graf 4 vychází z míry nevhodného přiřazení kanálu (viz příloha I). Hodnota 0 znamená, že router vybral správný kanál, všechny ostatní hodnoty pak udávají opak (1 = nejhorší). Z celkových 84 měření používal router nejvhodnější kanál pouze 38krát.

Graf 4 Vyhodnocení automatického přepínání kanálů



Z hodnot měření plyne, jak lze vidět v grafu 5, že má přenosová rychlost klesající tendenci v závislosti na zvyšujícím se počtu dalších uživatelů aktuálně používaného kanálu.

Graf 5 Závislost přenosové rychlosti na počtu dalších uživatelů používaného kanálu



Průměrná naměřená rychlost přenosu je 15,86 Mbit/s. Průměrná rychlost v době přepnutí kanálu je 12,04 Mbit/s, jedná se tedy o pokles přenosové rychlosti o 24,09 %.

Průměrný počet dalších uživatelů používaného pásma je 4,31. V době změny kanálu je tato hodnota 6,25, což je nárůst počtu uživatelů o 45,03 %.

7 Zhodnocení a závěrečná doporučení

Router díky funkci automatického přepínání kanálu zvolil vhodnější kanál až ve chvíli, kdy byl jím používaný kanál obsazen větším počtem uživatelů. Ve většině případů totiž setrval na aktuálním kanálu, ačkoliv WiFi Analyzer uváděl vhodnější kanál.

Algoritmus automatického přepínání kanálu není veřejně známý. Z měření však vyplývá, že router přepne kanál při dlouhodobějším poklesu přenosové rychlosti o necelých 24 %. Případně se rozhoduje na základě vytiženosti aktuálně používaného kanálu, v tomto případě při dlouhodobějším nárůstu uživatelů o 45 %. Chybovost automatického přepínání routeru podle grafu 4 vychází 54,76 %. Byla měřena i míra odezvy, pro výzkum má však nevypovídající hodnotu.

Dle očekávání z teoretických předpokladů vyplývá, že s větším počtem uživatelů využívajících stejný kanál klesá rychlost přenosu, jak ilustruje graf 5. Korelační koeficient $R^2 = 0,2413$ udává, že existuje slabá kladná korelační závislost mezi hodnotami přenosové rychlosti a počtem uživatelů křižujících aktuálně používaný kanál. [39]

Jak je z grafu 2 patrné, přenosová rychlost je výrazně vyšší v čase 10:00, tedy v čase, kdy se předpokládá nízké vytížení. Naopak v čase 20:00, tedy v čase denní špičky, dosahuje přenosová rychlost nejnižších hodnot. Výkyvy těchto hodnot mohly být způsobeny nepříznivými povětrnostními podmínkami v době měření. Graf 3 porovnává počet dalších uživatelů používaného pásma s denní dobou a ukazuje, že v čase 10:00 je internet využíván menším počtem uživatelů, než v časy 15:00 a 20:00.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo postihnout problematiku využití frekvenčních pásem nelicencovaných bezdrátových přenosů. V úvodu práce byly popsány základní principy bezdrátových sítí a jejich rozdělení z hlediska dosahu. Byla vysvětlena podstata fyzického šíření dat přenosovými mechanismy ve formě signálu. Dále byly vysvětleny nejdůležitější parametry bezdrátového přenosu. Představeny byly také hlavní vývojové standardy pro bezdrátovou komunikaci.

Ve druhé části se práce zabývala základním rozdělením a popisem nelicencovaných kmitočtových pásem se zaměřením na pásmo o frekvenci 2,4 GHz, kterému se věnovala i samotná analýza správné funkčnosti automatického přepínání směrovačů. V závěru byly zhodnoceny výsledky měření testovaného zapojení.

Tato bakalářská práce může do budoucna sloužit jako podklad k výzkumu pro diplomovou práci.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] J. Salazar, “BEZDRÁTOVÉ SÍTĚ”, Accessed: Feb. 25, 2023. [Online]. Available: <http://www.techpedia.eu>
- [2] “Bezdrátové systémy v přístupové síti.” <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=bezdratove-systemy-v-pristupove-siti&cisloclanku=2008020002> (accessed Feb. 26, 2023).
- [3] “Fyzická vrstva Wi-Fi.” <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=fyzicka-vrstva-wi-fi&cisloclanku=2008050006> (accessed Feb. 26, 2023).
- [4] H. Kupwade Patil and T. M. Chen, “Wireless Sensor Network Security,” *Computer and Information Security Handbook*, pp. 301–322, Jan. 2013, doi: 10.1016/B978-0-12-394397-2.00016-7.
- [5] “What is multiplexing and how does it work?” <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/multiplexing> (accessed Feb. 26, 2023).
- [6] “FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum - YouTube.” https://www.youtube.com/watch?v=CkhA7s5GIGc&ab_channel=SunnyClassroom (accessed Feb. 26, 2023).
- [7] I. A. Glover and R. Atkinson, “Overview of wireless techniques,” *Wireless MEMS Networks and Applications*, pp. 1–33, Jan. 2017, doi: 10.1016/B978-0-08-100449-4.00001-4.
- [8] “5: Simplified graph of an OFDM signal spectrum | Download Scientific Diagram.” https://www.researchgate.net/figure/Simplified-graph-of-an-OFDM-signal-spectrum_fig6_331134608 (accessed Feb. 26, 2023).
- [9] “Často kladené otázky.” <https://rychlost.cz/informace/faq/> (accessed Feb. 26, 2023).
- [10] Jan Švábík, “Rozdělení sítí podle rozsahu (PAN, LAN, WAN) – kritéria členění, hierarchická (stromová) topologie – druhy vrstev, jejich účel a funkčnost,” 2018, Accessed: Feb. 27, 2023. [Online]. Available: <https://jansvabik.cz/matur/postvy/13.pdf>

- [11] “How to Install Intel® My WiFi Technology.”
<https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000005738/wireless.html>
(accessed Feb. 27, 2023).
- [12] “6. Bezdrátové sítě. Princip, standard, provedení prvků, režimy komunikace, použití a vlastnosti. – Maturita v kapse.” <http://maturitavkapse.4fan.cz/6-bezdratove-site-princip-standard-provedeni-prvku-rezimy-komunikace-pouziti-a-vlastnosti/> (accessed Feb. 27, 2023).
- [13] “Co je to technologie ZigBee | Dekolamp.cz.”
<https://www.dekolamp.cz/clanky/detail/co-je-to-zigbee.htm> (accessed Feb. 28, 2023).
- [14] “What Is a Wireless LAN (WLAN)? - Cisco.”
<https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/wireless-lan.html> (accessed Feb. 27, 2023).
- [15] “Lekce 1 - Sítě - Typy používaných sítí.” <https://www.itnetwork.cz/site/zaklady/site-typy-pouzivanych-siti> (accessed Feb. 27, 2023).
- [16] “Co znamená Latence? - IT Slovník.” <https://it-slovník.cz/pojem/latence> (accessed Feb. 25, 2023).
- [17] “Je Wifi internet stabilní? | Airwaynet.cz - Internet na doma v Praze.”
<https://www.airwaynet.cz/je-wifi-internet-stabilni/> (accessed Feb. 25, 2023).
- [18] K. Milan, “Technologie bezdrátových sítí - základní principy a standardy,”
Technologie bezdrátových sítí - základní principy a standardy, 2017, doi:
10.5507/PDF.17.24451565.
- [19] “WECA Honored Along With IEEE 802.11 By PC Magazine As Network Standards Leaders | Wi-Fi Alliance.” <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/weca-honored-along-with-ieee-80211-by-pc-magazine-as-network-standards-leaders>
(accessed Feb. 26, 2023).
- [20] “Certification | Wi-Fi Alliance.” <https://www.wi-fi.org/certification> (accessed Feb. 26, 2023).

- [21] “Wi-Fi: Jak si zajistit velké pokrytí, rychlost a silný signál – Živě.cz.”
<https://www.zive.cz/clanky/wi-fi-jak-si-zajistit-velke-pokryti-rychlost-a-silny-signal/sc-3-a-172347/default.aspx> (accessed Feb. 26, 2023).
- [22] “Co je cloud computing? Průvodce pro začátečníky | Microsoft Azure.”
<https://azure.microsoft.com/cs-cz/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing> (accessed Feb. 26, 2023).
- [23] “Unlicensed Spectrum | Wi-Fi Alliance.” <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/unlicensed-spectrum> (accessed Feb. 26, 2023).
- [24] “Wireless Standards Explained: 802.11ax, 802.11ac, 802.11b/g/n.”
<https://www.lifewire.com/wireless-standards-802-11a-802-11b-g-n-and-802-11ac-816553> (accessed Mar. 21, 2023).
- [25] “Osobní síť -- Bluetooth a IEEE 802.15 - Lupa.cz.”
<https://www.lupa.cz/clanky/osobni-site-bluetooth-a-ieee-802-15/> (accessed Mar. 21, 2023).
- [26] “Bluetooth Technology Overview | Bluetooth® Technology Website.”
<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/> (accessed Mar. 21, 2023).
- [27] “Využívání vymezených rádiových kmitočtů | Český telekomunikační úřad.”
<https://www.ctu.cz/vyuzivani-vymezenych-radiovych-kmitoctu> (accessed Feb. 26, 2023).
- [28] Vojtěch Novotný, “Bezdrátové přenosy,” 2013, Accessed: Feb. 26, 2023. [Online]. Available: https://www.zamekkurim.cz/security/Dum%20-%20Digitalni%20ucebni%20materialy/05_Sada_Pocitacove_site_1/VY_32_INOVACE_05_17_%20BEZDRATOVE%20PRENOSY.pdf
- [29] M. Wimmer and J. Čížek, “Soudobé trendy v oblasti moderních bezdrátových spojů”, Accessed: Feb. 26, 2023. [Online]. Available: www.ctu.cz.
- [30] “Wifi – Znáte hlavní rozdíly mezi pásmy 2,4 GHz a 5 GHz? | Levná PC.”
<https://www.levnadc.cz/wifi-znate-hlavni-rozdily-mezi-pasmy.html> (accessed Feb. 27, 2023).

- [31] “Wifi | KT Kadaň.” <https://www.ktkadan.cz/stranka/wifi> (accessed Feb. 26, 2023).
- [32] “Should I use 2.4 GHz or 5 GHz WiFi? | CenturyLink.”
<https://www.centurylink.com/home/help/internet/wireless/which-frequency-should-you-use.html> (accessed Mar. 18, 2023).
- [33] “2.4 GHz vs 5 GHz WiFi Frequency Spectrum - Study CCNA.” <https://study-ccna.com/2-4-ghz-vs-5-ghz-wifi-frequency-spectrum/> (accessed Mar. 18, 2023).
- [34] “Adjacent Channel Interference.” <http://wifinigel.blogspot.com/2013/02/adjacent-channel-interference.html> (accessed Feb. 25, 2023).
- [35] “i4wifi.cz | WiFi signál.” <https://www.i4wifi.cz/cs/faq/303-wifi-signal> (accessed Feb. 26, 2023).
- [36] “Does weather impact internet connection speeds? | HighSpeedInternet.com.”
<https://www.highspeedinternet.com/resources/does-weather-impact-internet-connection-speeds> (accessed Feb. 28, 2023).
- [37] “Graphs comparing and contrasting the average hourly downloaded volume... | Download Scientific Diagram.” https://www.researchgate.net/figure/Graphs-comparing-and-contrasting-the-average-hourly-downloaded-volume-of-data-per-test_fig3_347442318 (accessed Feb. 28, 2023).
- [38] “Wi-Fi 7 jako nová generace bezdrátového internetu se blíží! Co přináší nový IEEE 802.11be? - DDWorld.cz.” <http://www.ddworld.cz/aktuality/periferie/wi-fi-7-jako-nova-generace-bezdratoveho-internetu-se-blizi-co-prinasi-novy-ieee-802.11be-2.html> (accessed Feb. 28, 2023).
- [39] “Pearsonův korelační koeficient”, Accessed: Feb. 28, 2023. [Online]. Available: https://mathstat.econ.muni.cz/media/12657/pear_cor.pdf
- [40] “Telepresence Definition & Meaning - Merriam-Webster.” <https://www.merriam-webster.com/dictionary/telepresence> (accessed Feb. 26, 2023).

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 Referenční model ISO/OSI	4
Obrázek 2 Princip DSSS.....	6
Obrázek 3 Princip rozprostření spektra [2].....	7
Obrázek 4 Princip FHSS [6]	8
Obrázek 5 Koncepce mechanismu OFDM [7]	9
Obrázek 6 Princip ODFM [8]	9
Obrázek 7 Wi-Fi Alliance certifikace [20]	15
Obrázek 8 Rozprostření kanálů v pásmu 2,4 GHz [34].....	21
Obrázek 9 Vizualizace vyzařování antén s různými zisky [31].....	23

11 Seznam tabulek

Tabulka 1 Referenční model ISO/OSI pro bezdrátové sítě založené na standardech 802.11 [2]	4
Tabulka 2 Přehled Wi-Fi standardů [3]	5
Tabulka 3 Rozdělení sítí podle rozsahu [10]	10
Tabulka 4 Porovnání frekvenčních pásem 2,4 GHz a 5 GHz	20
Tabulka 5 Průměrné naměřené hodnoty	26

12 Seznam grafů

Graf 1 Internetová špička [37]	24
Graf 2 Přenosová rychlost v závislosti na denní době	27
Graf 3 Počet dalších uživatelů používaného kanálu v závislosti na denní době.....	27
Graf 4 Vyhodnocení automatického přepínání kanálů	27
Graf 5 Závislost přenosové rychlosti na počtu dalších uživatelů používaného kanálu	28

13 Přílohy

Příloha I: Naměřená data mezi dny 20. 2. 2023 až 19. 3. 2023 (změna kanálu naznačena šedě)

Den	Čas	Používaný kanál	Počet dalších uživatelů používaného kanálu	Nejvhodnější kanál	Míra vytíženosti kanálu	Rychlost [Mbit/s]	Odezva [ms]
20.02.2023	10:00	6	2	13	2	20,86	25
20.02.2023	15:00	6	3	6	0	18,19	28
20.02.2023	20:00	6	3	6	0	17,81	32
21.02.2023	10:00	6	3	6	0	19,02	27
21.02.2023	15:00	6	4	11	1	13,07	27
21.02.2023	20:00	6	4	11	3	8,98	81
22.02.2023	10:00	6	6	13	2	12,83	26
22.02.2023	15:00	6	5	13	1	3,01	24
22.02.2023	20:00	6	3	6	0	11,91	26
23.02.2023	10:00	6	4	11	2	22,76	23
23.02.2023	15:00	6	5	13	2	20,79	24
23.02.2023	20:00	6	2	6	0	19,82	24
24.02.2023	10:00	6	3	13	1	20,45	25
24.02.2023	15:00	6	4	1	2	6,46	41
24.02.2023	20:00	6	3	6	0	13,55	29
25.02.2023	10:00	6	4	6	0	23,38	26
25.02.2023	15:00	6	4	13	2	20,07	27
25.02.2023	20:00	6	5	13	3	17,65	31
26.02.2023	10:00	6	4	11	1	18,52	26
26.02.2023	15:00	6	6	13	2	13,6	28
26.02.2023	20:00	6	6	11	1	14,41	33
27.02.2023	10:00	6	4	6	0	14,65	31
27.02.2023	15:00	6	6	13	1	13,22	34
27.02.2023	20:00	6	7	13	1	10,11	44
28.02.2023	10:00	13	2	13	0	19,51	26
28.02.2023	15:00	13	3	13	0	20,86	31
28.02.2023	20:00	13	3	13	0	19,23	27
01.03.2023	10:00	13	3	11	2	22,92	30
01.03.2023	15:00	13	5	1	3	19,45	27
01.03.2023	20:00	13	6	6	2	13,68	28
02.03.2023	10:00	13	4	13	0	18,21	38
02.03.2023	15:00	13	5	6	1	14,55	31
02.03.2023	20:00	13	5	13	0	16,98	26
03.03.2023	10:00	13	4	6	2	15,81	24
03.03.2023	15:00	13	4	6	1	13,18	30
03.03.2023	20:00	13	6	6	1	12,09	73
04.03.2023	10:00	6	4	6	0	17,62	35
04.03.2023	15:00	6	3	6	0	18,34	31
04.03.2023	20:00	6	3	1	3	16,21	26
05.03.2023	10:00	6	5	13	2	18,94	32
05.03.2023	15:00	6	2	6	0	19,02	23
05.03.2023	20:00	6	5	11	3	14,26	28

Pokračování přílohy I:

Den	Čas	Používaný kanál	Počet dalších uživatelů používaného kanálu	Nejvhodnější kanál	Míra vytíženosti kanálu	Rychlost [Mbit/s]	Odezva [ms]
06.03.2023	10:00	6	4	11	2	18,01	34
06.03.2023	15:00	6	4	13	3	16,93	27
06.03.2023	20:00	6	5	6	0	16,55	36
07.03.2023	10:00	6	4	11	1	15,73	55
07.03.2023	15:00	6	5	6	0	15,03	36
07.03.2023	20:00	6	4	13	3	12,11	31
08.03.2023	10:00	6	3	6	0	18,29	26
08.03.2023	15:00	6	5	13	2	15,34	25
08.03.2023	20:00	6	7	6	0	10,69	32
09.03.2023	10:00	6	4	13	1	12,87	38
09.03.2023	15:00	6	6	11	1	13,01	29
09.03.2023	20:00	11	6	11	0	13,99	27
10.03.2023	10:00	11	4	11	0	21,08	35
10.03.2023	15:00	11	5	6	3	17,84	31
10.03.2023	20:00	11	4	11	0	5,55	27
11.03.2023	10:00	11	4	13	2	18,62	62
11.03.2023	15:00	11	5	6	2	14,78	31
11.03.2023	20:00	11	6	11	0	15,04	29
12.03.2023	10:00	11	3	11	0	17,96	25
12.03.2023	15:00	11	5	6	1	14,48	33
12.03.2023	20:00	11	6	6	2	8,52	29
13.03.2023	10:00	11	4	6	2	18,73	35
13.03.2023	15:00	11	6	13	2	13,54	57
13.03.2023	20:00	11	7	6	1	11,31	26
14.03.2023	10:00	11	6	6	1	12,96	28
14.03.2023	15:00	6	2	6	0	17,35	33
14.03.2023	20:00	6	4	6	0	12,18	34
15.03.2023	10:00	6	1	6	0	16,75	26
15.03.2023	15:00	6	3	6	0	15,55	25
15.03.2023	20:00	6	5	13	3	14,39	23
16.03.2023	10:00	6	3	6	0	19,88	29
16.03.2023	15:00	6	5	13	3	18,12	25
16.03.2023	20:00	6	6	6	0	14,99	34
17.03.2023	10:00	6	4	6	0	21,78	38
17.03.2023	15:00	6	5	1	2	19,4	31
17.03.2023	20:00	6	7	6	0	8,82	27
18.03.2023	10:00	6	3	6	0	20,17	30
18.03.2023	15:00	6	2	6	0	16,87	46
18.03.2023	20:00	6	5	11	2	11,02	28
19.03.2023	10:00	6	3	6	0	18,22	32
19.03.2023	15:00	6	4	6	0	17,69	26
19.03.2023	20:00	6	6	6	0	14,55	25