Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra využití strojů

Perspektivy nasazení technologie LiFi

Bakalářská práce

Autor: **Matvei Leshchinskii**

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matvei Leshchinskii

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Perspektivy nasazení technologie LiFi

Název anglicky

Perspectives of using LiFi technology

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat nově zaváděnou technologii LiFi především z fyzikálního, technického a technologického pohledu, navrhnout možné případy nasazení a naopak posoudit a zdůvodnit zcela nevhodné oblasti pro dané využití této technologie.

Metodika

1. Analýza technologií bezdrátového přenosu dat
2. Explanace klíčových parametrů jednotlivých technologií
3. Komparace parametrů bezdrátových optických přenosů
4. Syntéza a kvantifikace zjištěných parametrů
5. Indukce parametrů pro FSO a LiFi
5. Abdukce zjištěných parametrů
6. Syntéza získaných informací ve vztahu k možnému nasazení LiFi
7. Matematické a statistické zpracování výsledků z reálného provozu
8. Diskuse, Dedukce vhodného a nevhodného nasazení technologie

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

IoT, FSO, LiFi

Doporučené zdroje informací

Almadani, Y.; Plets, D.; Bastiaens, S.; et al.: Visible Light Communications for Industrial Applications-Challenges and Potentials, ELECTRONICS Volume: 9 Issue: 12 Article Number: 2157 Published: DEC 2020

firemní literatura Philips např.: https://www.lighting.philips.cz/vzdelavani/blog-budoucnost-svetla/svetlo-ve-meste/pripojeni-pomoci-osvetleni-li-fi

"IEEE 802.15 WPAN Task Group 7 (TG7) Visible Light Communication". IEEE 802 local and metro area network standards committee. 2009. Retrieved June 28, 2011.

Jing Xue, Alok Garg, Berkehan Ciftcioglu, Jianyun Hu, Shang Wang, Ioannis Savidis, Manish Jain, Rebecca Berman, Peng Liu, Michael Huang, Hui Wu, Eby G. Friedman, Gary W. Wicks, Duncan Moore (June 2010). "An Intra-Chip Free-Space Optical Interconnect". the 37th International Symposium on Computer Architecture. Retrieved June 30, 2011.

Lee, I.E.; Sim, M.L.; Kung, F.W.L.; , "Performance enhancement of outdoor visible-light communication system using selective combining receiver," Optoelectronics, IET , vol. 3, no. 1, pp. 30–39, February 2009.

PragueBest s.r.o. "Free Space optics (FSO) with capacity 10 Gigabits Full Duplex – EC System". www.ecsystem.cz. Retrieved 14 March 2018.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra využití strojů

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2023

doc. Ing. Petr Šařec, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 18. 03. 2024

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci na téma:

"Perspekty nasazení technologie LiFi"

vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V …… dne ……

……
(podpis autora práce)

Poděkování

Rád bych vyjádřil svou hlubokou vděčnost Ing. Zdeňkovi Votrubovi, Ph.D za jeho trpělivost, podporu a cenné odborné vedení během tvorby této bakalářské práce. Vaše rady a směřování byly pro mě neocenitelné a přispěly k úspěšnému dokončení tohoto projektu.

Abstrakt

Zaměřením této bakalářské práce jsou perspektivy nasazení technologie LiFi v moderních komunikačních sítích. V úvodu jsou představeny základní principy a historie vývoje technologie LiFi. Dále následuje první část, ve které se práce věnuje analýze literatury, zkoumající klíčové vlastnosti LiFi a porovnání s „tradičními“ technologiemi.

Experimentální část práce popisuje provedený výzkum, zahrnující výběr specifických zařízení pro implementaci LiFi a konfiguraci prostředí, ve kterém byl výzkum proveden.

Dále zhodnocujeme výhody a nevýhody LiFi oproti stávajícím technologiím a identifikujeme potenciální oblasti využití.

Závěr práce shrnuje klíčové výsledky a přináší doporučení pro budoucí výzkum v oblasti LiFi.

Klíčová slova: IoT, FSO, LiFi

Abstract

The focus of this bachelor thesis is on the prospects of deploying LiFi technology in modern communication networks. In the introduction, the basic principles and history of LiFi technology development are presented. This is followed by the first part, in which the thesis analyses the literature, examining the key characteristics of LiFi and comparing it with "traditional" technologies.

The experimental part of the thesis describes the research conducted, including the selection of specific devices for LiFi implementation and the configuration of the environment in which the research was conducted.

We also evaluate the advantages and disadvantages of LiFi over existing technologies and identify potential application areas.

The paper concludes by summarizing the key results and making recommendations for future research in LiFi.

Keywords: IoT, FSO, LiFi

OBSAH

1 Úvod 10

1.1 Úvod do problematiky 10

1.1.1 Definice technologie LiFi 11

1.2 Aktuální stav výzkumu a využití LiFi 11

2 Cíl práce 12

2.1 Metodika 12

3 Teoretická část 13

3.1 Principy a fungování technologie LiFi 13

3.2 Wi-Fi 14

3.2.1 Porovnání Wi-Fi a Li-Fi 15

3.3 Typy optických bezdrátových přenosů 16

3.3.1 VLC 16

3.3.2 FSO 17

3.3.3 Porovnání Li-Fi, FSO a VLC 18

3.4 Kabelový optický přenos 19

3.4.1 Porovnání 20

4 Perspektivy nasazení technologie LiFi 22

4.1 Výhody a nevýhody LiFi oproti jiným technologiím 22

4.2 Potenciální oblast využití LiFi 23

4.2.1 Li-Fi ve zdravotnictví 23

4.2.2 Li-Fi v letectví 25

4.2.3 Li-Fi a Industry 4.0 26

4.2.4 Li-Fi a podvodní aplikace 28

5 Metodologie 31

5.1 Experementální výzkum 31

5.2 Výběr a popis technických prostředků pro experementální část 33
6 Výzvy a budoucí směry vývoje 35
6.1 Identifikace aktuálních omezení pro implementaci Li-Fi 35
6.2 Možné směry výzkumu a technologického rozvoje 39
7 Závěr 46
7.1 Shrnutí hlavních výsledků práce 46
7.2 Zhodnocení řešení problematiky práce 46
8 Seznam použitých zdrojů 48
9 Seznam obrázků 50
10 Seznam tabulek 51
11 Seznam použitých zkratek 52

1 Úvod

V éře digitální transformace a neustálého vývoje komunikačních technologií se objevují nové a inovativní způsoby, jak zlepšit a rozšířit možnosti bezdrátového přenosu dat. Jednou z nejvýznamnějších inovací posledního desetiletí je technologie Li-Fi (Light Fidelity), což je bezdrátová komunikační technologie založená na využití viditelného světla. Tato bakalářská práce se zaměřuje na zkoumání technologie Li-Fi, jejího potenciálu, technických aspektů a možností použití ve srovnání s tradičními bezdrátovými technologiemi, jako je například Wi-Fi.

Význam technologie Li-Fi spočívá v její schopnosti zajistit rychlejší, bezpečnější a efektivnější přenos dat. Tato technologie, která k modulaci světla a přenosu dat využívá LED diody, nabízí řešení některých omezení stávajících bezdrátových technologií, jako jsou kapacitní omezení, rušení signálu a bezpečnostní rizika. S rostoucí potřebou rychlé a spolehlivé bezdrátové komunikace v různých aplikacích - od chytrých domácností až po průmyslové aplikace - se Li-Fi stává slibnou alternativou, která rozšiřuje a doplňuje současné technologie.

Tato práce poskytuje ucelený přehled o technologii Li-Fi, včetně principů fungování, technických specifikací a srovnání s jinými bezdrátovými technologiemi. Zaměřuje se také na analýzu potenciálních aplikací Li-Fi v různých odvětvích a diskutuje výzvy a příležitosti pro budoucí výzkum a vývoj. Hlavním cílem článku je poskytnout hlubší pochopení technologie Li-Fi a jeho role v budoucím vývoji bezdrátových komunikačních technologií.

1.1 Úvod do problematiky

V posledních desetiletích se bezdrátové komunikační technologie staly nezbytnou součástí našeho každodenního života. S rostoucím počtem zařízení a uživatelů však tradiční bezdrátové technologie čelí problémům. V této souvislosti se Li-Fi jeví jako inovativní alternativa, která tato omezení může vyřešit.

Li-Fi poprvé představil profesor Harald Haas v roce 2011. Od té doby je předmětem intenzivního výzkumu a vývoje. Technologie Li-Fi využívá osvětlení LED k modulaci světla rychlostí, která je pro lidské oko nezjistitelná, což umožňuje přenášet data vysokou rychlostí a účinností.

1.1.1 Definice technologie LiFi

Li-Fi od tradičních metod, jako je Wi-Fi, liší tím, že k přenosu dat využívá viditelné, infračervené a ultrafialové světelné spektrum. Hlavním základem této technologie je použití LED diod, které dokážou modulovat světlo extrémně vysokou rychlostí, která je pro lidské oko nezjistitelná. Tato modulační rychlost umožňuje přenášet data rychlostí, která může v laboratorních podmínkách dosáhnout až 224 gigabitů za sekundu, což je rychlost, která výrazně převyšuje běžné sítě Wi-Fi. Jednou z klíčových výhod technologie Li-Fi je její bezpečnost, protože světelné vlny nemohou proniknout pevnými předměty, jako jsou zdi, což ztěžuje neoprávněný přístup do sítě. To je důležitý faktor v prostředích vyžadujících vyšší úroveň zabezpečení, jako jsou vládní budovy nebo finanční instituce. Kromě toho je spektrum viditelného světla přibližně 10.000-krát větší než spektrum rádiových frekvencí, což nabízí obrovský potenciál pro zvýšení kapacity bezdrátových sítí.

1.2 Aktuální stav výzkumu a využití LiFi

Výzkumné úsilí se zaměřuje na překonání technických omezení a rozšíření potenciálních aplikací Li-Fi. Jedním z hlavních úspěchů je dosažení extrémně vysokých přenosových rychlostí, což naznačuje potenciál Li-Fi pro náročné aplikace, které vyžadují rychlý přenos velkého množství dat.

Komerční aplikace Li-Fi se stále potýkají s problémy, zejména pokud jde o dosah a spolehlivost v různých prostředích. Signál Li-Fi je omezen na prostor osvětlený zdrojem LED, což vyžaduje nové přístupy k návrhu infrastruktury. Navzdory těmto výzvám se objevují první komerční aplikace, jako je inteligentní osvětlení a indoor navigační systémy v nákupních centrech a muzeích.

Další důležitou oblastí výzkumu je zajištění stability a odolnosti technologie Li-Fi v různých světelných podmínkách, včetně minimalizace rušení okolním světlem a zajištění stálého připojení mobilních uživatelů. Klíčem k překonání těchto problémů jsou inovace modulačních technik a zdokonalení fotodetektorů.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je analyzovat a posoudit perspektivy a potenciál technologie Li-Fi v moderních komunikačních sítích. Práce se zaměřuje na porovnání technologie Li-Fi s tradičními bezdrátovými technologiemi, jako je například Wi-Fi, a na identifikaci oblastí, kde by tato technologie mohla být využita s největším přínosem.

Práce se také zabývá potenciálními oblastmi použití technologie Li-Fi, jako je zdravotnictví, letectví, Industry 4.0 a podvodní aplikace, a identifikuje klíčové výzvy a budoucí směry pro technologii Li-Fi.

2.1 Metodika

Metodika bakalářské práce zahrnuje analýzu literatury, experimentální výzkum a vyhodnocení výsledků. V experimentální části práce je popsán provedený výzkum, včetně výběru konkrétních zařízení pro implementaci Li-Fi a konfigurace prostředí, ve kterém byl výzkum prováděn. V diskusi a závěru článku jsou shrnuty hlavní výsledky a uvedena doporučení pro budoucí výzkum v oblasti Li-Fi.

3 Teoretická část

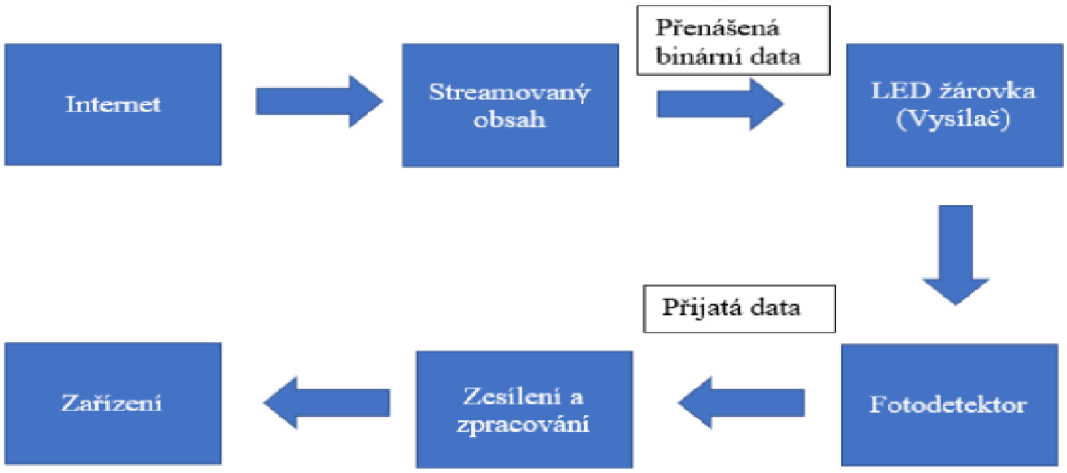
Teoretická část této práce se zaměřuje na hlubší pochopení základních principů a pojmů spojených s technologií LiFi.

3.1 Principy a fungování technologie LiFi

Princip Li-Fi spočívá v přenosu dat pomocí amplitudové modulace světelných zdrojů podle přesně definovaného a standardizovaného protokolu. Nový člen rodiny bezdrátového přenosu dat Li-Fi využívá k přenosu dat koncept blikání světla, které je rychlejší než schopnost lidského oka. Nová generace vysoce svítivých světelných diod (LED) tvoří hlavní část technologie věrného přenosu světla. Li-Fi se obvykle realizuje pomocí bílých LED žárovek v dolním vysílači. Tato zařízení se obvykle používají pouze k osvětlení přiváděním konstantního proudu. Tento geniální nápad funguje velmi jednoduše, pokud LED dioda svítí, vysíláte digitální 1; pokud nesvítí, vysíláte 0. LED diody lze zapínat a vypínat velmi rychle, což je příliš rychle na to, aby si toho lidské oko všimlo. V systému Li-Fi může rychlost přenosu dat souviset s LED diodami, takže výběr LED diod hraje zásadní roli. Parametry jako velikost LED, rychlost zapínání a vypínání a počet LED mohou ovlivnit rychlost přenosu dat komunikačního modelu. Rychlost přenosu dat je nepřímo úměrná velikosti LED diod, což znamená, že menší velikost LED diod bude mít větší rychlost přenosu dat. Pokud je rychlost zapínání a vypínání LED vyšší, můžeme přenášet data vyšší rychlostí ve formě jedniček. Vyšší počet LED v systému vede k většímu přenosu dat. Blokové schéma níže ukazuje základní princip fungování technologie Li-Fi. (1)

Prudkými a jemnými změnami proudu však lze měnit optický výkon extrémně vysokou rychlostí. Této vlastnosti optického proudu se využívá v nastavení Li-Fi.

Obr. 1 Přenos a příjem dat prostřednictvím LiFi



Zdroj: Li-Fi Technology Transmission of Data through Light, 2016 (2)

3.2 Wi-Fi

WiFi, což je zkratka pro Wireless Fidelity, je název bezdrátové síťové technologie, která využívá rádiové vlny k vytváření bezdrátových síťových připojení, poskytování přístupu k internetu nebo přenosu dat. Je velmi oblíbená, protože umožňuje uživatelům přístup k sítím bez nutnosti fyzického kabelu mezi zařízením a vysílačem. (3)

Funguje to tak, že když je do antény přiveden radiofrekvenční (RF) proud, vytvoří se elektromagnetické pole, které se šíří prostorem. Vznikne tak přístupový bod, ke kterému se uživatelé mohou připojit a získat k němu přístup. Tyto přístupové body jsou k dispozici ve vzdálenosti od 20 do 50 metrů. Aby se však uživatel mohl k přístupovému bodu připojit, musí mít v přístupovém zařízení nainstalovaný bezdrát ový síťový adaptér.

Používání WiFi má několik výhod. WiFi odstranilo potřebu fyzického připojení k serverům pro přístup k místním sítím a internetu. Protože připojení WiFi je bezdrátové, mohou k němu uživatelé přistupovat prakticky odkudkoli v dosahu. Přístup k internetu prostřednictvím WiFi je navíc snadno realizovatelný. Je potřeba pouze poskytovatele internetových služeb (ISP), který poskytne internetové připojení, a směrovač WiFi, který poskytne přístupový bod. Tato snadná implementace je hlavním důvodem širokého rozšíření přístupu k internetu prostřednictvím WiFi.

WiFi má i nevýhody. Za prvé, připojení WiFi bývá nezabezpečené. Jeho nedostatečné zabezpečení obvykle vyplývá z jeho širokého dosahu signálu. To umožňuje ostatním přístup k síti, pokud se zdržují v dosahu. I když je připojení chráněno heslem, ostatní se mohou pokusit do sítě nabourat, čímž ohrozí všechna soukromá data. Aby se tomu zabránilo, používá většina lidí k ochraně svých dat sofistikované high-tech techniky. Tyto techniky však mají také svá slabá místa, která mohou být zneužita k získání přístupu. Jejich implementace je také velmi nákladná.

Další nevýhodou připojení WiFi je, že signál bývá nespolehlivý. Je to způsobeno tím, že rádiové frekvence jsou neustále vystaveny různým vnějším rušením. Tato rušení mohou způsobit různé problémy s připojením, například slabý signál, špatný příjem nebo dokonce ztrátu spojení. K tomu se přidává skutečnost, že připojení WiFi je ze své podstaty pomalejší než kabelové připojení. Bezdrátová připojení mají obvykle rychlost mezi 1 a 54 Mb/s, zatímco kabelová připojení mají rychlost 100 Mb/s nebo vyšší.

3.2.1 Porovnání Wi-Fi a Li-Fi

Srovnání Wi-Fi a Li-Fi je klíčovým prvkem pro pochopení technologického prostředí bezdrátové komunikace. Wi-Fi, která přenáší data pomocí rádiových vln prostřednictvím Wi-Fi routeru, je v kontrastu s Li-Fi, která k přenosu dat využívá světlo.

Tab. 1 Porovnání Wi-Fi a Li-Fi

Kritérium	Li-Fi	Wi-Fi
Princip fungování	Využívá světlo k přenosu dat.	Přenáší data pomocí rádiových vln přes wifi router.
Technologie	Současná zařízení kompatibilní s IrDA	Zařízení kompatibilní se standardem WLAN 802.11/b/g/n/ac/d
Rychlost přenosu	V praxi se setkáváme s rychlostmi v řádu stovek Mbps až několika Gbps.	Rozsah od 150 Mb/s do maximálně 2 Gb/s
Standard	IEEE 802.15.7	IEEE 802.11
Ochrana údajů	Světlo je blokováno stěnami, a proto je přenos dat bezpečnější.	Zdi nemohou blokovat rádiové vlny, takže musíme použít více technik k dosažení bezpečného přenosu dat.

Šířka pásma	Neomezená šířka pásma.	Omezená šířka pásma.
Frekvence provozu	10.000násobek frekvenčního spektra rádia	2,4Ghz, 5Ghz, 10Ghz, 24 Ghz a 60Ghz
Vzdálenost pokrytí	Cca 10 metrů.	Přibližně 32 metrů (liší se v závislosti na vysílacím výkonu a typu antény)
Hustota dat	Práce s vysoce hustým prostředím.	Práce v méně hustém prostředí kvůli problémům s rušením.
Minimum použitých komponent	LED žárovka, LED ovladač a fotodetektor	Směrovače, modemy a přístupové body
Vysílání	Li-Fi využívá k vysílání signálu viditelné světlo se speciálními čipy a senzory.	WIFI používá k vysílání signálu rádiové vlny.(4)

Zdroj: Vlastní zpracování

3.3 Typy optických bezdrátových přenosů

V této části je cílem hlubší pochopení technologií VLC a FSO, vzhledem k rostoucímu zájmu o alternativní metody bezdrátového přenosu dat představují VLC a FSO, jako i Li-Fi, důležité oblasti výzkumu a vývoje, které mají potenciál transformovat způsob, jakým přistupujeme k bezdrátové komunikaci.

3.3.1 VLC

Visible light communication (VLC) je bezdrátová metoda, která umožňuje vysokorychlostní přenos dat pomocí viditelného světla. Tato data se přenášejí pomocí modulace intenzity světla vyzařovaného světelným zdrojem. Signál je přijímán zařízením s fotodiodou, které transformuje data do podoby, která je čitelná a snadno konzumovatelná koncovými uživateli.

Data se v systémech VLC přenášejí pomocí modulace světla. Při nízkých rychlostech se projevuje jako neustálé blikání světla, které rozkládá data na soustavu jedniček a nul, jež se prostřednictvím vysílače přemění na potřebná data. Rychlost přenosu dat je však velmi závislá na rychlosti blikání. Z tohoto důvodu se v systémech VLC používají jako primární zdroj světla světelné diody (LED). Žárovky LED jsou polovodiče, což jim dává schopnost zvládat ultrarychlou modulaci světla probíhající rychlostí nezjistitelnou lidským okem. (5)

Výhody VLC spočívají především v širokém pásmu, které umožňuje efektivní přenos dat a podporu široké škály aplikací. Díky použití viditelného světla je VLC méně náchylný k rušení elektromagnetickými poli, což zvyšuje spolehlivost komunikace. Další výhodou je bezpečnost, protože signál nelze snadno odposlouchávat mimo danou oblast, což může být výhodou v citlivých oblastech.

VLC se však také potýká s několika omezeními. Omezený dosah světelného signálu a neschopnost proniknout přes překážky mohou omezit použití této technologie v situacích, kdy je třeba komunikovat na větší vzdálenost nebo přes zdi.

Citlivost na okolní světlo může ovlivnit účinnost VLC v různých prostředích a vyžaduje opatření k minimalizaci rušení. Dále je pro účinnou komunikaci často nutné udržovat vizuální kontakt mezi vysílačem a přijímačem, což může být v některých situacích náročné. Požadavky na speciální zařízení, jako jsou LED světla s vysokou modulační rychlostí, také znamenají, že implementace VLC může vyžadovat další investice.

3.3.2 FSO

Free-space optics (FSO) označuje přenos modulovaných viditelných nebo infračervených (IR) paprsků atmosférou za účelem získání širokopásmové komunikace. Nejčastěji se používají laserové paprsky, i když k tomuto účelu poslouží i nelaserové zdroje, jako jsou světelné diody (LED) nebo infračervené diody (IRED). Teorie FSO je v podstatě stejná jako u přenosu optickými vlákny. Rozdíl spočívá v tom, že paprsek energie je kolimován a vysílán čistým vzduchem nebo prostorem od zdroje k cíli, nikoli veden optickým vláknem. Pokud zdroj energie nevytváří dostatečně rovnoběžný paprsek, aby urazil požadovanou vzdálenost, lze provést kolimaci pomocí čoček. U zdroje se viditelná nebo infračervená energie moduluje s daty, která mají být přenášena. V cíli je paprsek zachycen fotodetektorem, data jsou extrahována z viditelného nebo IR paprsku (demodulována) a výsledný signál je zesílen a odeslán do hardwaru.

Systémy FSO mohou fungovat na vzdálenost několika kilometrů. Pokud je mezi zdrojem a cílem volná viditelnost, je komunikace teoreticky možná. I když není přímá viditelnost, lze k odrazu energie použít strategicky umístěná zrcadla. Paprsky mohou procházet skleněnými okny s malým nebo žádným útlumem. (6)

Mezi hlavní výhody FSO patří schopnost dosahovat vysokých přenosových rychlostí, což umožňuje efektivní přenos dat na krátké vzdálenosti. Díky širokému pásmu je FSO vhodná pro širokou škálu aplikací. Nízká latence této technologie je důležitá pro aplikace, které vyžadují rychlou odezvu. Nízká náchylnost k elektromagnetickému rušení navíc poskytuje výhodu v prostředí s vysokým rušením.

Naopak FSO se potýká s omezeným dosahem, který může být ovlivněn atmosférickými podmínkami včetně deště, mlhy nebo sněžení. Úzký směrový paprsek vyžaduje přesné zaměření mezi vysílačem a přijímačem, což může být omezující. Přímá viditelnost mezi zařízeními a citlivost na atmosférické podmínky mohou rovněž ovlivnit spolehlivost přenosu. Omezené prostorové pokrytí FSO, které vyžaduje přímou viditelnost, může omezovat jeho použití v urbanizovaných nebo zalesněných oblastech.

3.3.3 Porovnání Li-Fi, FSO a VLC

Srovnání Li-Fi, FSO a VLC je klíčem k pochopení rozdílů a výhod těchto optických bezdrátových přenosů. Li-Fi využívá viditelné světlo LED diod, zatímco FSO (Free-space optics) a VLC (Visible Light Communication) využívají laserové paprsky a infračervené záření.

Tab. 2 Porovnání optických bezdrátových přenosů

Kritérium	Li-Fi	FSO	VLC
Přenosové médium	Využívá viditelné světlo od LED diod.	Využívá lasery nebo infračervené záření.	Podobně jako Li-Fi, využívá viditelné světlo.
Přenosová rychlost	Teoreticky dosahuje až několika gigabitů za sekundu; v praxi se setkáváme s rychlostmi v řádu stovek Mbps až několika Gbps.	Velmi vysoká, až 10 Gbps a více.	Až 10 Gbps, podobně jako Li-Fi.
Dosah	Typicky do 10 metrů.	Může být až několik kilometrů.	Obvykle do 10-20 metrů.
Bezpečnost	Vysoká, světlo není schopné prostoupit skrz pevné objekty, což	Vysoká, zvláště pro cílené spoje.	Vysoká díky omezenému dosahu a nemožnosti

	omezuje dosah signálu.		prostupu signálu skrz pevné objekty.
Efektivita	Vysoká, zejména když je integrována s osvětlením.	Ovlivněna atmosférickými podmínkami, jako jsou mlha, déšť.	Vysoká, může být integrována s existujícím osvětlením.
Interference	Ovlivnění externím světelným zdrojem, ale menší interferenci než rádiové technologie.	Menší než u rádiových frekvencí, ale ovlivněna vnějšími podmínkami.	Ovlivněna vnějším světelným zdrojem.
Latence	Nízká, vhodná pro aplikace vyžadující rychlou odezvu.	Nízká.	Nízká, vhodná pro real-time aplikace.
Mobilita	Omezená mobilita kvůli potřebě přímé viditelnosti mezi vysílačem a přijímačem.	Omezená, vyžaduje pevnou instalaci pro stabilní spojení.	Omezená, stejně jako u Li-Fi.

Zdroj: Vlastní zpracování

Li-Fi a VLC jsou si ve většině vlastností velmi podobné, liší se především v aplikacích a implementaci. Li-Fi se zaměřuje spíše na vysokorychlostní připojení k internetu, zatímco VLC se často používá při navigaci v interiéru a inteligentním osvětlení. FSO nabízí větší dosah a je vhodnější pro venkovní aplikace a velké vzdálenosti, ale je citlivější na atmosférické podmínky.

3.4 Kabelový optický přenos

Optické vlákno je pružné médium pro přenos signálů pomocí světla podél jeho podélné osy. Jeho použití v komunikaci umožňuje přenos na větší vzdálenosti a vyšší přenosovou rychlostí než jiné formy komunikace. Oproti kovovým vodičům má výhodu nižších ztrát a odolnosti vůči elektromagnetickému rušení. Optická vlákna jsou vhodná také pro osvětlení a lze je použít pro přenos obrazu.

Ačkoli mohou být vlákna vyrobena z průhledného plastu, skla nebo z kombinace obou, na delší vzdálenosti pro telekomunikační aplikace se dává přednost skleněným vláknům kvůli nižšímu optickému útlumu. V komunikacích se podle potřeby používají

jak vícemódová, tak jednovidová vlákna, přičemž vícemódová se používají pro kratší vzdálenosti do 550 m a jednovidová pro delší vzdálenosti.(7)

Dosahují vysokých přenosových rychlostí, až desítek terabitů za sekundu. Každé vlákno může přenášet mnoho nezávislých signálů s různými vlnovými délkami světla. Optické kabely jsou vhodné pro krátké vzdálenosti v budovách, šetří místo a jsou odolné vůči elektrickému rušení. Jsou nevodivé a ideální do prostředí s výbušnými výpary nebo vysokým napětím.

3.4.1 Porovnání

Li-Fi a kabelový optický přenos jsou dvě komunikační technologie, které využívají světlo jako médium pro přenos dat. Kabelový optický přenos využívá k přenosu světelných signálů optická vlákna a dosahuje vysokých přenosových rychlostí na velké vzdálenosti. Technologie Li-Fi naproti tomu využívá viditelné světlo nebo infračervené záření k bezdrátovému přenosu dat, často v omezeném prostoru.

Tab. 3 Porovnání kabelového optického přenosu a Li-Fi

Kritérium	**Li-Fi**	**Kabelový optický přenos**
Princip přenosu	Využívá viditelné světlo nebo infračervené záření pro přenos dat.	Využívá optická vlákna pro přenos světelných signálů.
Přenosová rychlost	V laboratorních podmínkách až 224 Gb/s, v praxi se setkáváme s rychlostmi v řádu stovek Mbps až několika Gbps.	Teoriticky desítky Terabit/s, ale běžně 10 až 40 Gb/s.
Dosah	Dosah je omezen délkou optického vlákna, může být několik kilometrů bez opakovačů signálu.	Dosah je omezen viditelnou linií mezi světelným zdrojem a přijímačem, ale obecně 10 m.
Přenosové prostředí	Vhodný pro různá prostředí, včetně průmyslových, komerčních a rezidenčních.	Ideální pro omezená prostředí, jako jsou kanceláře, konferenční místnosti nebo domácí sítě.
Ochrana dat	Poskytuje vysokou úroveň zabezpečení díky obtížnému odposlechu optických vláken.	vyžaduje další bezpečnostní opatření, zejména v situacích, kdy světlo může pronikat okny nebo stěnami.

Závislost na viditelnosti	Nevyžaduje přímou viditelnost, protože přenos probíhá v optickém vlákně.	Vyžaduje přímou viditelnost mezi zdrojem světla a přijímačem.
Interference	Je odolný vůči elektromagnetickému rušení.	Může být náchylný na rušení jinými zdroji světla nebo překážkami na silnici.
Energetická efektivnost	Při přenosu dat přes optická vlákna má nižší spotřebu energie.	Může vyžadovat vyšší spotřebu energie kvůli provozu LED světel.
Mobilita	Není vhodné pro mobilní zařízení.	Je vhodný pro mobilní zařízení, protože světelné impulzy lze zaměřit na pohybující se přijímače.
Latence	Poskytuje nízkou latenci, což je důležité pro aplikace vyžadující okamžitou odezvu.	Má potenciál nabídnout nízkou latenci, ale záleží na konkrétní implementaci.(7)

Zdroj: Vlastní zpracování

Každá technologie má své výhody a omezení. Optický kabelový přenos vyniká spolehlivostí a rychlostí na velké vzdálenosti, zatímco Li-Fi je atraktivní volbou pro prostředí s omezeným prostorem a potřebou bezdrátové mobility. Volba mezi těmito technologiemi bude záviset na konkrétních požadavcích a prostředí dané aplikace.

4 Perspektivy nasazení technologie LiFi

V této části práce se zaměřuje na prozkoumání rozsáhlého pole možností a perspektiv nasazení technologie LiFi.

4.1 Výhody a nevýhody LiFi oproti jiným technologiím

- **Výhody**

  Jednou z největších předností technologie Li-Fi je její schopnost poskytovat extrémně vysoké přenosové rychlosti. Díky pokročilé modulaci světelných signálů může rychlost přenosu dat teoreticky dosáhnout až několika gigabitů za sekundu. Tyto rychlosti jsou výhodné zejména pro náročné aplikace, jako je streamování videa ve vysokém rozlišení nebo přenos velkých datových souborů.(8)

  Další klíčovou výhodou technologie Li-Fi je bezpečnost. Protože světelné vlny nemohou proniknout pevnými překážkami, jako jsou zdi, je signál Li-Fi omezen na konkrétní místnost nebo prostor. Toto omezení dosahu signálu znamená, že je pro nepovolané osoby obtížnější odposlouchávat nebo zasahovat do síťového provozu. Technologie Li-Fi je proto atraktivním řešením pro prostředí vyžadující vysokou úroveň zabezpečení a ochrany dat.

  Li-Fi vyniká také spektrální účinností. Použití viditelného světla, které má mnohem širší spektrum než rádiové frekvence, znamená, že technologie Li-Fi není omezena současným přetížením rádiových kanálů. To je důležité zejména v hustě obydlených nebo komerčních prostředích, kde je hustota bezdrátových sítí vysoká.

- **Nevýhody**

  Jednou z hlavních nevýhod technologie Li-Fi je její omezený dosah a nutnost přímé viditelnosti mezi vysílačem a přijímačem. Signály Li-Fi jsou omezeny na prostor, ve kterém se nachází zdroj světla, což znamená, že signál nemůže proniknout pevnými překážkami, jako jsou například zdi. To omezuje mobilitu uživatelů, kteří se musí zdržovat v dosahu světelného zdroje, a může ztěžovat široké nasazení technologie Li-Fi ve velkých prostorách, jako jsou kancelářské budovy nebo výrobní haly.

Další významnou nevýhodou je vliv vnějších zdrojů světla, jako je sluneční světlo nebo umělé osvětlení, které mohou způsobovat rušení a ovlivňovat kvalitu a spolehlivost přenosu dat. To je problematické zejména ve venkovních aplikacích nebo v prostředí s proměnlivými světelnými podmínkami.(8)

Implementace technologie Li-Fi navíc vyžaduje specifickou infrastrukturu, včetně LED osvětlení a kompatibilních přijímacích zařízení. To může znamenat další náklady na instalaci a údržbu, zejména v prostředí, kde již existuje stávající bezdrátová infrastruktura, jako je Wi-Fi.

Je také důležité si uvědomit, že ačkoli technologie Li-Fi nabízí vysokou rychlost přenosu dat, její celkový výkon může být ovlivněn mnoha faktory, včetně kvality a umístění zdrojů osvětlení a přijímacích zařízení.

4.2 Potenciální oblast využití LiFi

Použití technologie Li-Fi je rozmanité díky jejím klíčovým vlastnostem. Případů použití technologie Li-Fi je mnoho a možnosti, jak tuto technologii implementovat, jsou neomezené.

4.2.1 Li-Fi ve zdravotnictví

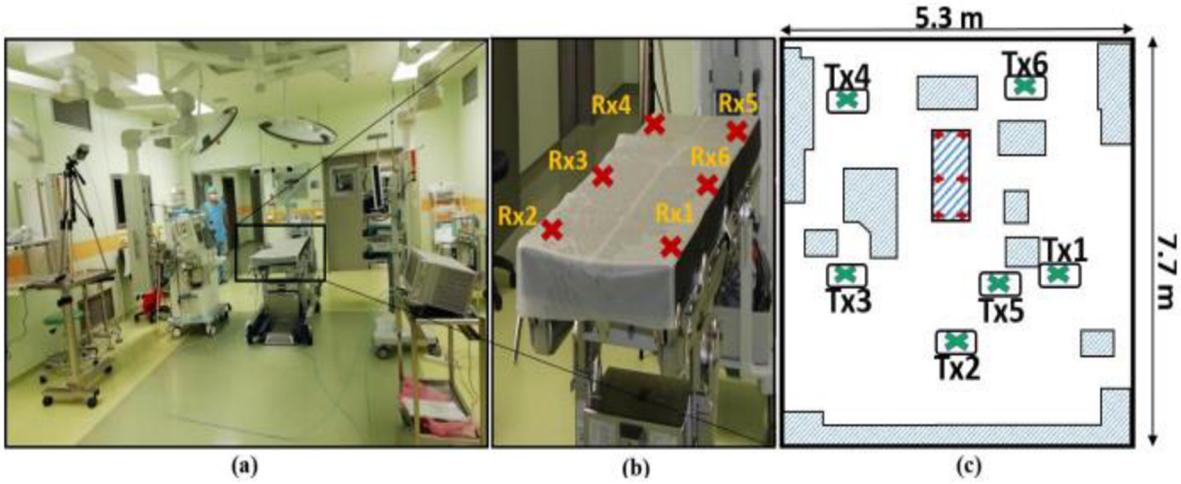
S rozvojem zdravotnických technologií je potřeba bezpečných a spolehlivých komunikačních systémů stále důležitější. Tradiční bezdrátové sítě, jako jsou WiFi a Bluetooth, jsou sice rozšířené, ale často nejsou dostatečně zabezpečené, což může ohrozit citlivé údaje pacientů.

Technologie LiFi umožňuje rychlý a bezpečný přenos dat bez elektromagnetického rušení, takže je mimořádně vhodná pro komunikační systémy ve zdravotnictví. Tato vlastnost je kriticky důležitá v prostředích, jako jsou operační sály, kde je stabilní a bezpečná komunikace nepostradatelná.

Jednou z výš uvedených vlastností technologie LiFi je její omezený dosah, který významně zvyšuje bezpečnost tím, že zajišťuje, že k přenášeným datům mají přístup pouze zařízení v určité blízkosti zdroje světla. Technologie LiFi navíc usnadňuje okamžitou komunikaci mezi zdravotnickými pracovníky díky rychlému přenosu dat a minimální latenci. Tato vlastnost je nepostradatelná v naléhavých případech, kdy může rychlé rozhodování zachránit život.

Jeden z prvních experimentu zavedení Li-Fi do nemocnic byl proveden v Praze v Fakultní nemocnice Motol. Cílem bylo zjistit základní znalosti o scénáři šíření, tj. o vlivu blokování a odrazů od objektů, pro inženýři. Výsledkem byly data frekvenční odezvy optických kanálů pro různé polohy vysílače (Tx) a přijímače (Rx) v místnosti, které pak považovali za virtuální víceuživatelský systém s vice vstupy a výstupy (MU-MIMO).

Obr. 2 Scénář měření: (a) Neurochirurgický operační sál; (b) Polohy Rx na operačním stole; (c) Pohled na operační sál shora. kde jsou pozice Tx označeny zelenou barvou. Pozice Rx jsou zde vyznačeny červeně.



Zdroj: LiFi Experiments in a Hospital (9)

Zde je použita konvenční technika frekvenčního rozmítání. Mezi Tx a Rx je připojen standardní vektorový analyzátor sítě Agilent (VNA E5061B3L5), který přivádí spojitý vlnový signál s proměnnou frekvencí od 1 do 200 MHz. Pro charakterizaci každého kanálu se kalibruje odezva optického čelního panelu, která se měří v minimální nezkreslené vzdálenosti ve volném LOS.

Z experimentálních dat bylo zjištěno, že síla signálu je slabší u všech Rx při použití Tx1 a Tx2. Tx1 je často blokován monitorem, zatímco Tx2 je příliš daleko od operačního stolu. Rx1 a Rx2 jsou umístěny v poloze hlavy pacienta, která má dobrou viditelnost a volný LOS od Tx5 a Tx3. Podobně jsou Rx4 a Rx5 umístěny poblíž polohy nohou pacienta, kde mají Tx4 a Tx6 dobrou sílu signálu. Amplitudy odezvy pro Rx3 a Rx6 jsou vždy mezi maximální a minimální odezvou, protože se nacházejí ve střední poloze operačního stolu. Počáteční pokles na nižších frekvencích

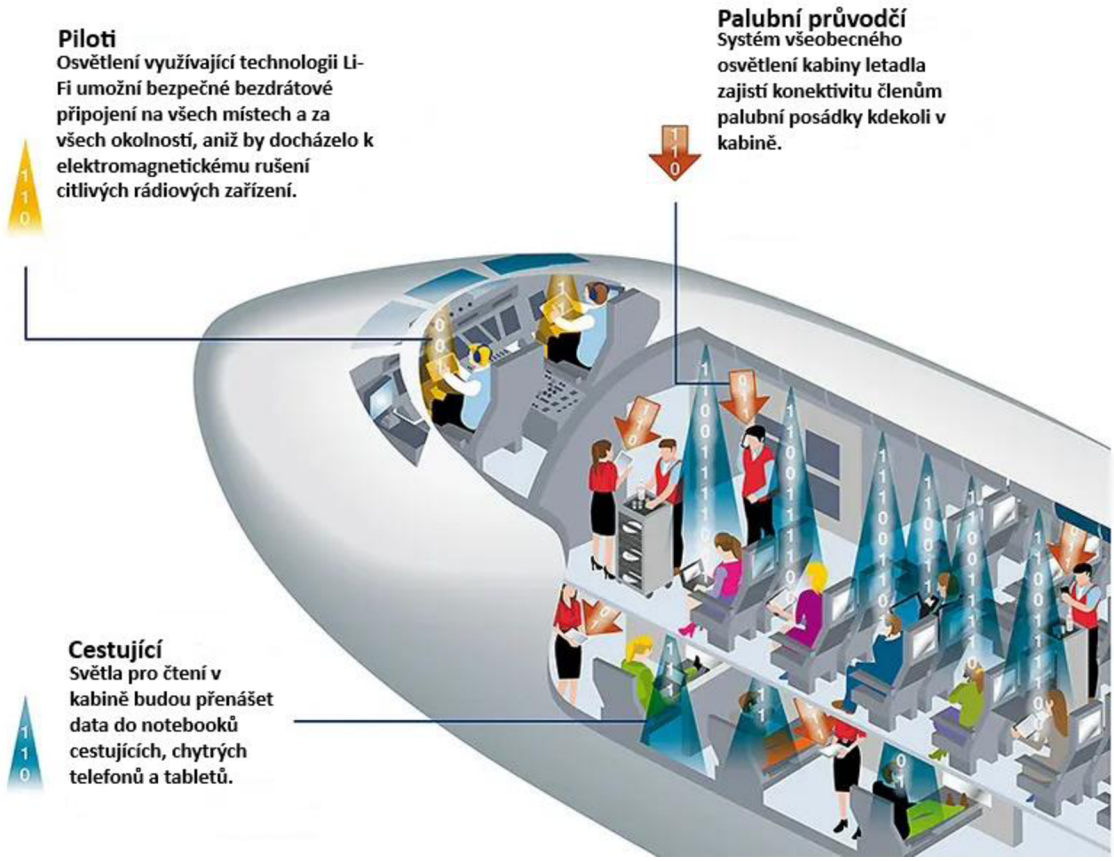
amplitudové odezvy naznačuje, že v operačním sále, kde mají všechny předměty jasné barvy, je mnoho rozptýlených odrazů. (9)

4.2.2 Li-Fi v letectví

Li-Fi má teoreticky potenciál přinést revoluci v letecké dopravě. Pokud se rozšíří, mohlo by v mnoha ohledech zlepšit zážitek z cestování:

- **Vylepšená zábava během letu**
  Díky přijímačům Li-Fi instalovaným na každém sedadle si cestující mohou užívat ultrarychlý přístup k internetu, streamování videa v HD rozlišení a interaktivní hry v reálném čase. Tato technologie eliminuje potřebu tradičních kabelových systémů, čímž snižuje hmotnost a složitost palubní kabeláže.
- **Efektivní monitorování kabiny**
  Technologie Li-Fi může také zlepšit bezpečnostní opatření na palubě letadla. Integrované senzory Li-Fi mohou v reálném čase shromažďovat údaje o teplotě, tlaku, detekci kouře a pohybu cestujících, což umožňuje rychlejší identifikaci a reakci na potenciální bezpečnostní problémy.
- **Komunikace mezi členy posádky**
  Členové posádky mohou bezproblémově komunikovat pomocí zařízení s podporou technologie Li-Fi, jako jsou tablety nebo chytré telefony. Okamžité zasílání zpráv, videohovory a sdílení důležitých informací lze provádět rychle a bezpečně prostřednictvím palubních světel, což zvyšuje efektivitu provozu a koordinaci na palubě.

Obr. 3 Možnost uplatnění Li-Fi v letadle



Zdroj: Airbus.com (10)

Technologie Li-Fi již našla uplatnění v letectví. V říjnu 2019 společnost OLEDCOMM oznámila, že dosáhla rychlosti připojení 1 Gb/s na palubě komerčního letadla pomocí technologie Li-Fi. Toto oznámení znamenalo historický okamžik, kdy společnost poprvé vybavila komerční letadlo modemy této inovativní technologie. Konkrétně se jednalo o letoun Airbus A321, který zajišťoval spojení mezi Paříží a Toulouse. Technologie Li-Fi nabízí rychlejší, bezpečnější, ekologičtější a cenově dostupnější alternativu k Wi-Fi. V budoucnu by tato technologie mohla být ideálním prostředkem pro poskytování vysokorychlostního připojení na palubách letadel.

4.2.3 Li-Fi a Industry 4.0

Co to je Industry 4.0? Industry 4.0 představuje revoluci ve výrobě a řízení procesů. Výrobci integrují do svých provozů pokročilé technologie, jako je internet

věcí (IoT), cloud computing, analytika, umělá inteligence a strojové učení. Výsledkem jsou chytré továrny s pokročilými senzory a roboty, které umožňují efektivnější rozhodování, vyšší míru automatizace a vyšší schopnost reagovat na potřeby zákazníků.

Tento digitální přístup vede ke zvýšení produktivity, prediktivní údržbě a nové úrovni efektivity. Analýza velkých dat ze senzorů umožňuje sledování výrobních prostředků v reálném čase a prediktivní údržbu. Využití zařízení internetu věcí v chytrých továrnách zvyšuje produktivitu a kvalitu výroby, zatímco aplikace umělé inteligence snižuje chybovost. Koncepty Industry 4.0 jsou použitelné napříč průmyslovými odvětvími, od diskrétní výroby až po těžební a ropný průmysl. (11)

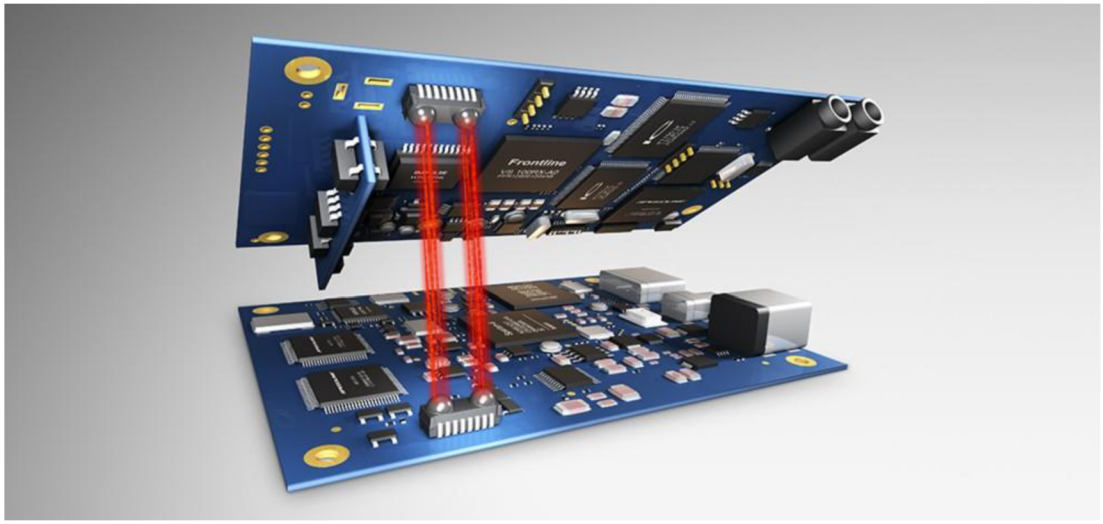
Industry 4.0 však není poháněn pouze internetem věcí. Očekává se, že strojové učení, umělá inteligence a analýza velkých dat přispějí k významným změnám v průmyslu. Pro Industry 4.0 je zásadní také rozvoj síťových technologií, protože veškeré poznatky a efektivita generované zařízeními internetu věcí jsou užitečné pouze tehdy, pokud k nim lze snadno a rychle přistupovat.

Technologie Li-Fi nabízí vyhovující výkon pro požadavky na reálný čas a spolehlivost továrních robotů, zejména pro aplikace s uzavřenou řídicí smyčkou.

V srpnu 2016 vyvinul tým z Fraunhoferova institutu pro fotonické mikrosystémy (IPMS) v německých Drážďanech komunikační modul Li-Fi (Li-Fi GigaDock), který umožňuje bezdrátové propojení zařízení používaných v průmyslové výrobě.

Technologie optického přenosu nejen usnadňuje výměnu obrovského množství dat, ale také podporuje vysoké vlastnosti automatizační techniky v reálném čase. Tato technologie je určena jako doplněk nebo náhrada všudypřítomných sběrnicových nebo ethernetových systémů.

Obr. 4 Li-Fi GigaDock



Zdroj: Ipms.fraunhofer.de (12)

Vlastnosti Li-Fi GigaDock:

- Rychlost přenosu dat: kBit/s až 12,5 Gbit/s
- Dosah: ≤10 cm
- Vlnová délka: viditelná, infračervená
- Jednosměrný a obousměrný, plně duplexní provoz
- Možnost přenosu v reálném čase až <1 s
- Přenos dat z bodu do bodu
- Možnost otáčení o 360°
- Teplotní rozsah: Spotřebitelský a průmyslový
- Typ konstrukce: ≥2×2×2 mm3
- Třída laseru 1(11)

4.2.4 Li-Fi a podvodní aplikace

Li-Fi v podvodním prostředí může přinést rychlý a spolehlivý přenos dat mezi podmořskými zařízeními. Vzhledem k omezené propustnosti rádiových vln ve vodě a potřebě spolehlivé komunikace v podmořských misích, může Li-Fi poskytovat stabilní a bezpečné propojení.

Dále, světelné vlny, které Li-Fi využívá, mohou být vhodnější pro podmořské aplikace, protože mají menší šíření ve vodě a mohou být lépe kontrolovány. To

umožňuje efektivní komunikaci v prostředí, kde tradiční bezdrátové metody mohou čelit výzvám.

Využitelnost technologie Li-Fi je omezena vzdáleností, na kterou může světlo proniknout vodou. Významné množství světla nepronikne dále než 200 metrů. Do vzdálenosti větší než 1000 metrů nepronikne žádné světlo.

Využitelnost technologie Li-Fi v podmořském prostředí je omezena dosahem světla ve vodě. Světlo může proniknout do vzdálenosti maximálně 200 metrů, přičemž do 1000 metrů již nedosahuje. Sluneční světlo, vstupující do vody, může za optimálních podmínek dosáhnout až 1000 metrů, ale vzácně překračuje 200 metrů. Oceán je rozdělen do tří hloubkových zón. Horních 200 metrů se nazývá eufotická nebo "sluneční" zóna, kde probíhá většina rybolovu a žijí zde chráněné mořské savci a želvy. Nad touto hloubkou proniká světlo jen omezeně.

Zóna mezi 200 a 1000 metry je označována jako "soumračná" nebo dysfotická zóna. V této oblasti se intenzita světla rychle ztrácí s rostoucí hloubkou, a fotosyntéza není možná. Afotická neboli "půlnoční" zóna začíná pod 1000 metry. Světlo do této hloubky nedosahuje a oblast je zahalena temnotou.

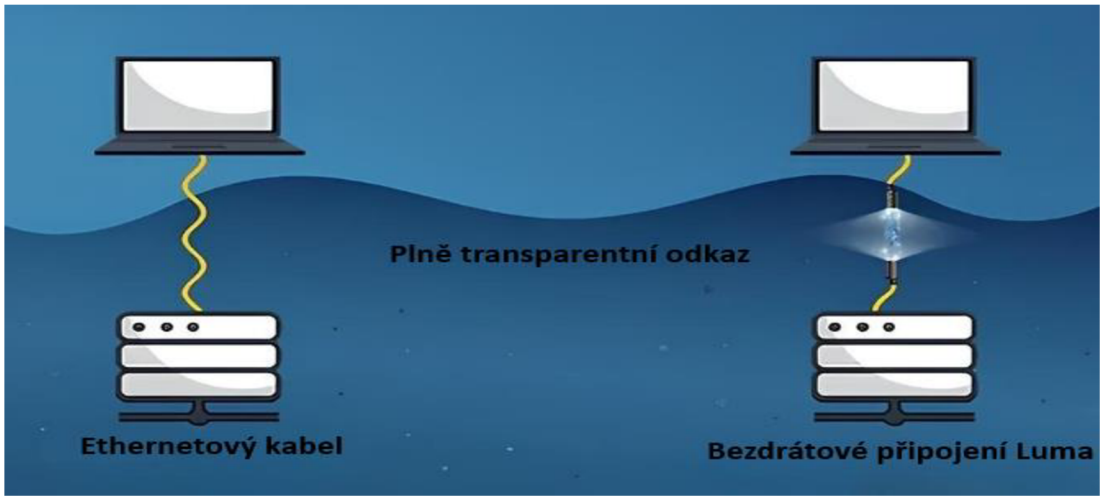
Inženýři společnosti Hydromea vyvinuli inovativní řešení pro přenos dat pod hladinou oceánu nebo jezera. Jejich podvodní modem nazvaný LUMA využívá rychle blikající modré světlo k efektivní komunikaci. Modem transformuje data na světelné impulsy, které vysílá, a naopak převádí světelné impulsy, jež přijímá, zpět na data, a to vše prakticky okamžitě.

Obr. 5 Li-Fi Luma

Zdroj: Hydromea.com (13)

LUMA byl konstruován s ohledem na provoz v hloubce až 6 000 metrů. Jedná se o plně uzavřenou jednotku v plastovém pouzdře, které je kompletně obaleno průhledným plástem, čímž je zajištěna odolnost vůči extrémnímu tlaku vody. Tento systém již absolvoval úspěšné testy v Tichém oceánu ve hloubce 4 280 metrů pod hladinou moře, provedené vědci z Institutu Alfreda Wegenera pro polární a mořský výzkum v Německu.(14)

Obr. 6 Zapojení a přehrávání



Zdroj: Hydromea.com (13)

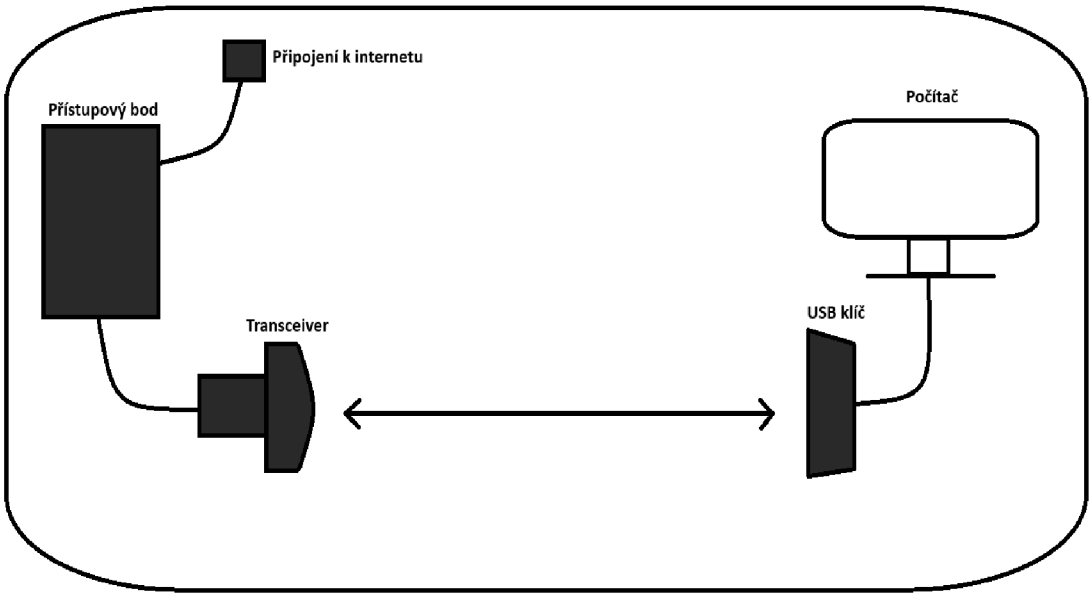
5 Metodologie

Pro ověření aktuálního vývoje technologie Li-Fi bylo provedeno experimentální výzkumné šetření zařízení od společnosti Signify.

5.1 Experementální výzkum

Pro ověření byla použita zařízení od společnosti Signify s názvem Trulifi. V experimentu byly použity následující komponenty: transceiver, kabel RJ12 pro transceiver, USB klíč, USB-C kabel a přístupový bod model 6002.1. Síťové kabely a RJ45 internetový kabel byly připojeny k přístupovému bodu. Součástí balení je také USB flash disk s ovladači pro možnost připojení počítače k síti Li-Fi. Po instalaci ovladačů se USB klíč připojí k počítači, a po umístění transceiveru a USB klíče směrem k sobě, po krátké době se USB klíč připojí k transceiveru. Za předpokladu správného připojení internetového kabelu k síti LAN a díky komunikaci mezi USB klíčem a transceiveru bude mít počítač přístup k síti internet, a to na vzdálenost 1,8-2,8 metrů.

Obr. 7 Schéma připojení



Zdroj: Vlastní zpracování

Jak uvádí výrobce: “Trulifi 6002: Vhodný pro kanceláře, zdravotnictví, pohostinství a dopravní trh. LiFi systém používá dvousměrné infra-červené světlo s rychlostí přenosu dat až 150 Mbps s paprskem o průměru cca 2,2 metru na jeden vysílač ve výšce 2m.“ (15)

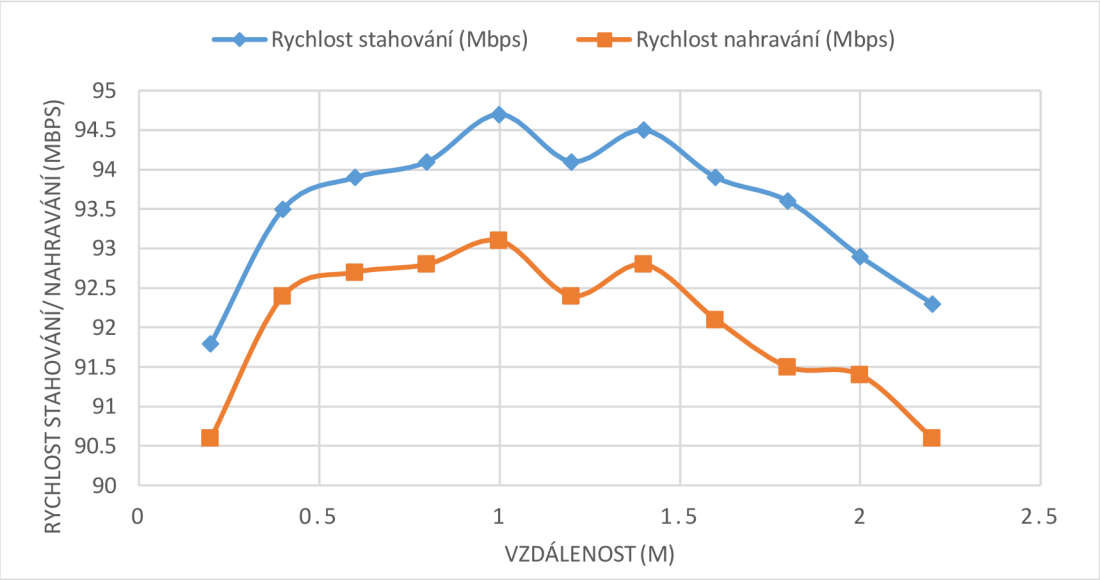
Ve skutečnosti, při vzdálenosti přibližně půl metru, dosahovala rychlost 93 Mbps při stahování. Při zvýšení vzdálenosti na jeden metr se rychlost zvýšila na 94 Mbps při stahování. Při dalším zvětšení vzdálenosti mezi transceiverem a USB klíčem nebyla pozorována výrazná změna v rychlosti přenosu dat. Při dosažení dvou metrů se rychlost snížila na 92 Mbps. Při téměř dvou a půl metrové vzdálenosti byl signál nestabilní a měření rychlosti nebylo možné provést.

Přítomnost jakéhokoli objektu v prostoru mezi transceiverem a USB klíčem způsobovala destabilizaci signálu a rušení při přenosu dat.

Tab. 4 Hodnoty rychlostí pro různé vzdálenosti

Vzdálenost (m)	Rychlost stahování/ nahravání (Mbps)
0.2	91.8/90.6
0.4	93.5/92.4
0.6	93.9/92.7
0.8	94.1/92.8
1	94.7/93.1
1.2	94.1/92.4
1.4	94.5/92.8
1.6	93.9/92.1
1.8	93.6/91.5
2	92.9/91.4
2.2	92.3/90.6

Zdroj: Vlastní zpracování



Graf 1 Hodnoty rychlostí pro různé vzdálenosti

5.2 Výběr a popis technických prostředků pro experementální část

1. TRULIFI ACCESS POINT 6002.1

   Parametry:

   - **Síťové napětí:** 100-240 V, 50/60 Hz
   - **Příkon systému:** 35 W (na základě 6 připojených vysílačů)
   - **Průměrná okolní teplota**: 25 °C
   - **Rozsah provozní teploty:** 25 °C +10 až +40 °C
   - **Síťová komunikace:** vstupní připojení datového spoje RJ45 kat.
   - **Možnost připojení více uživatelů:** až 16 uživatelů na jeden přístupový bod
   - **Režim přenosu:** poloduplexní přenos
   - **Šifrování:** End-to-End šifrování na bázi AES-128
   - **Standard:** navrženo pro ITU-T G.9991.

2. TRULIFI TRANSCEIVER 6002.1

   Parametry:

   - **Napětí**: 24 V DC poskytované přístupovým bodem Trulifi 6002.1
   - **Napájení systému:** 5 W při 230 V AC (dodává přístupový bod Trulifi 6002.1)
   - **Podpora bezdrátové optické komunikace downlink:** infračervená

- **Průměrná okolní teplota**: 25 °C
- **Rozsah provozní teploty:** +10 až +40 °C
- **Síťová komunikace:** vstupní připojení datového spoje RJ12 - 7m kabel SFTP (kabel je součástí dodávky)
- **Možnost připojení více uživatelů:** Až 16 uživatelů na jeden přístupový bod
- **Přenosový režim:** poloduplexní přenos
- **Šifrování**: šifrování od konce ke konci na bázi AES-128
- **Standard:** navrženo pro ITU-T G.9991.

3. TRULIFI USB KEY 6002.1

   Parametry:

   - **Napětí:** 5 V DC přes USB 3.0
   - **Výkon systému:** 3,5 W
   - **Podpora bezdrátové optické komunikace Uplink:** Infračervená
   - **Průměrná okolní teplota:** 25 °C
   - **Rozsah provozní teploty**: +10 až +35 °C
   - **Síťová komunikace:** vstupní připojení datového spoje: USB 3.0 typ C (kabel je součástí dodávky)(16)

6 Výzvy a budoucí směry vývoje

Přestože technologie Li-Fi nabízí mnoho výhod, jako je vysoká rychlost přenosu dat a potenciální bezpečnostní výhody, stále čelí několika výzvám. Jedním z hlavních problémů je dosah signálu, který může být ovlivněn překážkami, jako jsou zdi a nábytek. Klíčovými tématy, která je třeba řešit pro širší přijetí technologie Li-Fi, jsou také otázky týkající se interoperability a standardizace této technologie.

Další otázky souvisejí s budoucím vývojem technologie - jak se může tato technologie vyvíjet a přizpůsobovat potřebám moderních uživatelů? Jaké inovace a vylepšení můžeme očekávat v oblasti hardwaru a softwaru? A jak může Li-Fi zapadnout do rámce budoucích komunikačních sítí?

6.1 Identifikace aktuálních omezení pro implementaci Li-Fi

a. **Omezený dosah a prostorová omezení**

U technologie Li-Fi, která k přenosu dat využívá světelný signál, je problémem omezený dosah. Světelný signál má ve srovnání s tradičními bezdrátovými technologiemi omezený dosah. Faktory, jako jsou překážky a topologie prostoru, mohou ovlivnit stabilitu a účinnost přenosu dat. Tato omezení jsou klíčovými faktory, které mohou omezit použitelnost technologie Li-Fi v určitých prostředích.

Významným problémem jsou prostorová omezení, která vznikají v důsledku překážek v prostoru, jako jsou stěny, nábytek nebo jiné objekty. Tyto překážky mohou bránit plynulému šíření světelného signálu, což vede k nespolehlivému přenosu dat v různých částech místnosti nebo budovy.

Možná řešení:

- **Optimalizace rozsahu:** Výzkum a vývoj nových technologií pro maximalizaci dosahu signálu a minimalizaci vlivu překážek. Zavedení více světelných zdrojů pro rozšíření pokrytí a odstranění tmavých oblastí.
- **Více zdrojů světla:** implementujte více zdrojů světla pro rozšíření pokrytí a odstranění tmavých oblastí.

- **Adaptivní algoritmy**: implementace adaptivních algoritmů, které dokáží detekovat překážky a automaticky optimalizovat směr nebo intenzitu světelného signálu.
- **Reflektory a odražeče:** použití reflektorů a odražečů k eliminaci nežádoucích odrazů a zajištění lepšího pokrytí ve složitých prostorových podmínkách.

b. Interference s okolním světlem

Při použití viditelného světla pro přenos dat v technologii Li-Fi se často lze setkat s problémem rušení okolním světlem. Toto rušení může být způsobeno nejen běžnými umělými zdroji světla, ale také přirozeným slunečním světlem. To může mít za následek zhoršení kvality přenosu dat a snížení spolehlivosti komunikace.

Možná řešení:

- **Správa frekvencí:** přizpůsobení frekvencí tak, aby se minimalizovalo rušení běžného osvětlení.
- **Vývoj filtrů:** vytvoření filtrů, které izolují signál Li-Fi od ostatních zdrojů světla.
- **Optimalizace barevného spektra:** výzkum a vývoj barevných spekter, která minimalizují konflikty s okolním osvětlením.
- **Řízení intenzity světla:** dynamické řízení intenzity světla podle potřeby, aby se minimalizovalo rušení.

c. Bezpečnostní otázky

Při zavádění technologie Li-Fi vyvstávají bezpečnostní problémy, kterým je třeba věnovat zvýšenou pozornost. Přenos dat pomocí světelného signálu může být náchylný k odposlechu a bezpečnostním hrozbám, zejména pokud světelný signál proniká za zdi. Klíčem k zajištění bezpečné komunikace prostřednictvím technologie Li-Fi je ochrana před neoprávněným přístupem a šifrování dat.

Možná řešení:

- **Pokročilé šifrovací protokoly:** implementace pokročilých metod šifrování pro zajištění bezpečné komunikace.
- **Omezený dosah:** snížení dosahu, aby se minimalizovalo riziko neoprávněného odposlechu.

- **Segmentace sítě:** segmentace sítě za účelem izolace potenciálních hrozeb a minimalizace škod.
- **Monitorování bezpečnostních incidentů:** pravidelné monitorování sítě a zavedení systémů pro rychlé odhalování a řešení bezpečnostních incidentů.

d. Standardizace a interoperabilita

Implementace technologie Li-Fi se potýká s problémy souvisejícími s nedostatkem jasně definovaných standardů a interoperability, což může omezovat schopnost různých zařízení vzájemně komunikovat. Nedostatek norem může vést k problémům s kompatibilitou a integrací technologie Li-Fi do stávajících ekosystémů.

Možná řešení:

- **Pracovní skupiny pro normalizaci:** podpora zřízení pracovních skupin pro stanovení jednotných norem v rámci odvětví.
- **Aktivní účast na průmyslových fórech:** Zapojení do průmyslových diskusí a fór o standardizaci Li-Fi.
- **Kompatibilita se stávajícími standardy:** návrh a implementace Li-Fi s ohledem na interoperabilitu se stávajícími standardy, jako je Wi-Fi nebo Bluetooth.
- **Otevřená specifikace:** podpora otevřených specifikací, které umožňují širší zapojení vývojářské komunity a růst ekosystému.

e. Problémy s mobilností

Technologie Li-Fi může vykazovat určitou citlivost na pohyb uživatele, což může způsobit přerušení signálu při přechodu mezi světelnými zónami. To je zvláště důležité v prostředí, kde uživatelé očekávají plynulé a nepřetržité připojení.

Možná řešení:

- **Vývoj technologií pro bezproblémový přechod:** vytváření technologií umožňujících bezproblémový přenos dat na cestách.
- **Inteligentní přepínání:** implementace systémů pro rychlé a automatické přepínání mezi světelnými zónami.

- **Vývoj směrových antén:** vývoj pokročilých směrových antén, které jsou schopny efektivně sledovat pohyb uživatele a udržovat spojení.
- **Implementace bezdrátového předávání za pohybu:** vývoj systémů pro bezproblémové předávání signálu při pohybu uživatele, podobně jako je tomu u mobilních sítí.

f. Efektivita ve venkovních prostředích

Přestože technologie Li-Fi může být vnitřním prostředím úspěšná, čelí výzvám, když je nasazena ve venkovních podmínkách. Problémy spočívají vlivem meteorologických podmínek, slunečního záření a dalších vnějších faktorů, které mohou omezit dosah a spolehlivost přenosu dat.

Možná řešení:

- **Vývoj odolnějších komponent**: vytvoření zdrojů a přijímačů světla, které jsou odolné vůči vnějším vlivům.
- **Adaptivní systémy:** implementace systémů, které se automaticky přizpůsobují měnícím se podmínkám prostředí.
- **Vývoj odolných fotodetektorů:** vývoj fotodetektorů, které jsou odolné vůči změnám intenzity světla a umožňují spolehlivý přenos dat ve venkovních podmínkách.
- **Systémy s automatickým přizpůsobením:** implementace systémů s automatickým přizpůsobením, které reagují na aktuální venkovní podmínky a optimalizují přenos dat.

g. Příprava na masové připojení a škálovatelnost

Jednou z klíčových výzev při zavádění technologie Li-Fi je příprava na masové připojení a škálovatelnost. Při masovém rozšíření technologie Li-Fi je nezbytné zajistit, aby infrastruktura a technologie mohly efektivně sloužit velkému počtu připojených zařízení a uživatelů.

Možná řešení:

- **Optimalizace přenosových kapacit:** Výzkum a implementace technologií, které maximalizují přenosovou kapacitu Li-Fi, aby bylo možné uspokojit rostoucí poptávku.
- **Škálovatelná infrastruktura:** vývoj infrastruktury, která je flexibilní a snadno škálovatelná s rostoucím počtem uživatelů.

- **Dynamické přidělování zdrojů**: zavedení dynamických mechanismů přidělování zdrojů, které se automaticky přizpůsobují aktuálnímu provozu a potřebám uživatelů.
- **Systémy s vysokou hustotou bodů přístupu:** implementace systémů s vysokou hustotou bodů přístupu, které jsou schopny obsloužit velké množství uživatelů v omezeném prostoru.

Překonání těchto výzev vyžaduje nejen technický pokrok, ale také spolupráci mezi průmyslem, vládou a vědeckou komunitou. Identifikace těchto problémů a nalezení vhodných řešení bude klíčem k úspěšnému zavedení technologie Li-Fi a maximalizaci jejích přínosů pro společnost.

6.2 Možné směry výzkumu a technologického rozvoje

a. **Rozvoj vícekanálových systémů**

Jedním z klíčových směrů výzkumu a technologického vývoje této inovativní technologie je vývoj vícekanálových systémů. V této souvislosti se hledají nové přístupy k optimalizaci využití spektra, zvýšení propustnosti sítě a zvýšení robustnosti komunikace založené na světle.

- **Optimalizace spektrální efektivity**

  Výzkum by se měl zaměřit na vývoj technologií, které efektivněji využívají dostupné světelné spektrum. To může zahrnovat metody paralelního přenosu dat na různých frekvencích, čímž se zvýší celková kapacita sítě.

- **Dynamické přidělování kanálů**

  Implementace mechanismů dynamického přidělování kanálů by mohla umožnit adaptivní přidělování frekvencí podle aktuálního provozu a prostředí. Tím by se dosáhlo efektivního využití spektra za různých podmínek.

- **Integrace s standardy pro vícekanálovou komunikaci**

  Technologie Li-Fi by měla být schopna integrace se stávajícími standardy pro vícekanálovou komunikaci. Kompatibilita s jinými technologiemi, jako je Wi-Fi, by podpořila interoperabilitu a umožnila bezproblémový přechod mezi různými bezdrátovými sítěmi.

- **Vývoj přesnějších spektrálních měření**

  Výzkum směrem k přesnějším spektrálním měřením by mohl vést k nástrojům schopným podrobnější analýzy spekter ve světelném prostoru. To by usnadnilo identifikaci optimálních frekvencí pro přenos dat.

b. Integrace Li-Fi a dalších bezdrátových technologií

S rozvojem bezdrátových komunikačních technologií vzniká naléhavá potřeba integrace různých bezdrátových standardů, aby bylo vytvořeno komplexnější a interoperabilnější komunikační prostředí. V této souvislosti nabízí Li-Fi jedinečnou příležitost k synergii se stávajícími bezdrátovými technologiemi, jako je Wi-Fi nebo 5G. Integrace těchto technologií by mohla přinést významné výhody, pokud jde o lepší dostupnost, spolehlivost a výkonnost bezdrátové komunikace.

Výhody integrace: širší pokrytí a dostupnost, přesunutí mezi sítěmi a efektivní využití spektra.

- **Kompatibilita protokolů**

  Výzkum by se měl zaměřit na vývoj protokolů a standardů, které umožní efektivní komunikaci mezi Li-Fi a jinými bezdrátovými technologiemi. To zahrnuje synchronizaci dat, správu připojení a spravedlivé využívání dostupného spektra.

- **Mobilita a handover**

  Klíčovým prvkem je vytvoření mechanismů pro plynulý přechod mezi Li-Fi a ostatními sítěmi v reálném čase. Rychlé a spolehlivé techniky předávání jsou nezbytné pro zachování připojení při pohybu uživatele.

- **Spolehlivost a bezpečnost**

  Cílem výzkumu by mělo být také zajištění spolehlivosti a bezpečnosti integrovaných sítí. To zahrnuje ochranu proti rušení, kybernetickým útokům a dalším bezpečnostním hrozbám.

- **Standardizace a otevřené platformy**

  Vytvoření otevřených standardů a platforem umožní, aby se na procesu integrace podílela širší průmyslová a vývojářská komunita.

Standardizace bude klíčem k dosažení interoperability a sjednocení vývoje v této oblasti.

c. **Optimalizace přenosových rychlostí**

Optimalizace přenosových rychlostí je klíčovým aspektem dalšího vývoje technologie Li-Fi, která nabízí bezdrátový přenos dat prostřednictvím světelných vln. Zajištění vysokých přenosových rychlostí je nezbytné nejen pro to, aby technologie Li-Fi byla konkurenceschopná s ostatními bezdrátovými technologiemi, ale také pro uspokojení stále rostoucí poptávky po šíření dat v moderním světě.

- **Šíření spektra a vícekanálové systémy**

  Výzkum by se měl zaměřit na efektivnější využívání spektra a zavádění vícekanálových systémů. To by umožnilo paralelní přenos dat na různých frekvencích, čímž by se zvýšila celková šířka pásma a přenosová rychlost.

- **Adaptivní modulace a kódování**

  Zavedení adaptivních mechanismů modulace a kódování by umožnilo automatické přizpůsobení parametrů přenosu aktuálním podmínkám. Tím by se dosáhlo optimálního výkonu i v proměnlivém prostředí.

- **Dynamický management přenosové rychlosti**

  Zavedení dynamických systémů řízení šířky pásma by umožnilo rychle reagovat na změny v prostředí. Systémy by měly schopnost automaticky upravovat přenosovou rychlost podle aktuálních podmínek a potřeb uživatelů.

- **Vývoj nízké latence**

  Výzkum by měl zahrnovat snahu o snížení latence, která je klíčovým faktorem při poskytování vysoce výkonných služeb. Nižší latence by zajistila rychlejší odezvu na požadavky uživatelů, což je důležité zejména u interaktivních aplikací.

d. **Rozvoj Li-Fi v venkovních prostředích**

S rostoucím využíváním technologie Li-Fi v interiérech se objevuje výzva přizpůsobit tuto inovativní bezdrátovou technologii tak, aby byla účinná i v náročných venkovních podmínkách. Vývoj technologie Li-Fi ve venkovním

prostředí představuje důležitý krok k jejímu širšímu nasazení v různých oblastech, včetně městských prostor, venkovských oblastí a průmyslových komplexů.

- **Adaptivní světelné zdroje**

  Vývoj světelných zdrojů, které se dokážou přizpůsobit změnám světelných podmínek, je klíčovým krokem k optimalizaci venkovního prostředí Li-Fi. Tento směr výzkumu zahrnuje vývoj senzorů, které mohou sledovat okolní světelné podmínky a informovat světelné zdroje o potřebě upravit intenzitu nebo modulaci signálu v závislosti na aktuálních podmínkách.

- **Pokročilé anténní technologie**

  Venkovní prostředí přináší nové výzvy v oblasti anténní technologie. Výzkum v této oblasti se může zaměřit na vývoj víceanténních systémů, které umožňují optimalizovaný přenos signálu v prostředí s různým rušením. Tato technologie může zahrnovat adaptivní antény, které automaticky mění směr přenosu podle podmínek prostředí.

- **Smart grids a infrastruktura**

  Integrace Li-Fi do inteligentních sítí a infrastruktury má potenciál zajistit efektivní správu a optimalizaci venkovních sítí Li-Fi. Chytré sítě mohou být navrženy tak, aby efektivně řídily spotřebu energie světelných zdrojů a zajistily rovnoměrné pokrytí signálem v celé venkovní oblasti.

- **Vliv teplotních podmínek**

  Teplotní rozdíly v různých venkovních prostředích mohou výrazně ovlivnit výkon zařízení Li-Fi. Výzkum by se měl zaměřit na vývoj zařízení, která jsou schopna odolávat extrémním teplotám a zároveň si zachovat stabilní a spolehlivý přenos dat.

e. Bezpečnostní inovace

Inovace v oblasti bezpečnosti jsou při vývoji technologie Li-Fi klíčovým aspektem, zejména vzhledem k rostoucímu důrazu na bezpečný a spolehlivý přenos dat. Při implementaci technologie Li-Fi v různých prostředích, včetně venkovních a vnitřních prostor, je nezbytné vyvinout robustní bezpečnostní

opatření, která budou schopna odolat stále sofistikovanějším bezpečnostním hrozbám.

- **Šifrovací metody specifické pro Li-Fi**

  Klíčovou bezpečnostní inovací je zavedení šifrovacích metod určených speciálně pro Li-Fi. Tyto metody by měly zohlednit specifika komunikace založené na světle a minimalizovat možnost odposlechu nebo narušení integrity dat. Kvantové šifrování nebo jiné pokročilé techniky by mohly posílit úroveň šifrování přenášených dat.

- **Bezpečné autentizační mechanismy**

  Vývoj bezpečných mechanismů ověřování je klíčem k zajištění toho, aby k sítím Li-Fi měli přístup pouze oprávnění uživatelé. To zahrnuje vývoj pokročilých biometrických technologií, duální autentizaci a inteligentní metody správy přístupu, které minimalizují riziko neoprávněného přístupu nebo podvržení identity.

- **Bezpečnost přenosu v otevřených prostorech**

  V otevřených venkovních prostorách, kam je obtížné kontrolovat přístup, je nutné vyvinout mechanismy, které zajistí bezpečný přenos dat. To zahrnuje šifrování přenosů, detekci možného rušení nebo pokusů o neoprávněný přístup a adekvátní reakci na tyto situace.

- **Integrovaná bezpečnostní architektura**

  Vytvoření komplexní integrované bezpečnostní architektury, která zahrnuje transparentní monitorování sítě, detekci neobvyklého chování a rychlou reakci na potenciální hrozby. Inteligentní bezpečnostní systémy by měly být schopny adaptivně reagovat na nové hrozby a aktualizovat bezpečnostní politiky.

f. Standardizace a interoperabilita

Standardizace a interoperabilita jsou klíčovými faktory pro úspěch a masové rozšíření technologie Li-Fi. Zavedení jednotných standardů a zajištění interoperability mezi různými zařízeními a výrobci jsou nezbytné pro dosažení efektivního a harmonického fungování sítí Li-Fi.

- **Interoperabilita mezi různými výrobci**

Zajištění interoperability mezi zařízeními různých výrobců je nezbytné pro vytvoření ekosystému, ve kterém mohou zařízení Li-Fi komunikovat bez ohledu na jejich výrobce. To vyžaduje podrobné specifikace a testování, aby bylo zajištěno, že všechna zařízení splňují stejné standardy a jsou schopna vzájemné spolupráce.

- **Globální standardizace protokolů**

  Zavedení globálních standardů pro protokoly Li-Fi je nezbytné pro zajištění konzistence a kompatibility v celosvětovém měřítku. Organizace, jako je Institut elektrotechnických a elektronických inženýrů (IEEE), mohou hrát klíčovou roli při vytváření mezinárodně uznávaných norem, které definují fyzickou a linkovou vrstvu pro komunikaci Li-Fi.

- **Jednotná správa sítí**

  Standardizace protokolů pro správu a konfiguraci sítě je klíčovým faktorem pro snadnou správu a údržbu sítí Li-Fi. Jednotné metody konfigurace, monitorování a aktualizace firmwaru zjednoduší správu sítě a zajistí konzistentní výkonnost různých implementací.

- **Otevřené standardy pro inovace**

  Podpora otevřených standardů může podnítit inovace a růst ekosystému Li-Fi. Poskytnutí otevřených rozhraní vývojářům a výrobcům umožní vytváření nových aplikací a zařízení, která mohou přinést nové možnosti využití technologie Li-Fi.

g. Inovace ve světelných zdrojích

Vývoj technologie Li-Fi zahrnuje nejen pokrok v komunikačních protokolech, ale také inovace světelných zdrojů, které jsou základem této revoluční technologie. Účinnost, spolehlivost a energetická efektivita světelných zdrojů jsou klíčem k optimalizaci komunikace Li-Fi.

- **Modulace světelné intenzity**

  Modulace intenzity světla je klíčovým prvkem komunikace Li-Fi. Inovace v této oblasti zahrnují vyšší modulační rychlosti, které umožňují rychlejší přenos dat. Výzkum a vývoj nových modulačních

technik přináší možnost dosažení větší šířky pásma a zvyšuje celkový přenosový výkon.

- **Vícebarevné světelné zdroje**

  Vývoj světelných zdrojů se schopností generovat vícebarevné světlo umožňuje efektivnější využití spektra pro komunikaci Li-Fi. To zvyšuje kapacitu sítě a umožňuje rozlišovat kanály pomocí různých barev.

- **Integrace s inteligentními senzory**

  Propojení světelných zdrojů s inteligentními senzory přináší další úroveň inovace. Inteligentní senzory mohou sledovat okolní prostředí, světelné podmínky a aktivně upravovat parametry světelných zdrojů pro optimalizaci komunikace.

- **Omezení nežádoucích efektů**

  Klíčem k zajištění stabilní a spolehlivé komunikace jsou inovace v oblasti omezení nežádoucích účinků světelných zdrojů, jako je kolísání světla nebo jiné rušivé faktory.

7 Závěr

V rámci této bakalářské práce byla provedena analýza a zkoumání technologie Li-Fi (Light Fidelity) s cílem posoudit její perspektivy a možnosti nasazení v moderních komunikačních sítích. Hlavním cílem bylo porovnat Li-Fi s tradičními bezdrátovými technologiemi, jako je Wi-Fi, a identifikovat oblasti, kde by mohla být tato technologie využita s největším přínosem.

7.1 Shrnutí hlavních výsledků práce

Výzkum přinesl poznatky o potenciálu technologie Li-Fi v moderních komunikačních sítích. Studie poskytla komplexní přehled o technologii Li-Fi, včetně jejích základních principů a klíčových charakteristik. Prostřednictvím analýzy literatury práce porovnávala Li-Fi s tradičními bezdrátovými technologiemi, jako je Wi-Fi, a zdůraznila její výhody a potenciální aplikace.

Dále experimentální výzkum provedený v rámci této práce zahrnoval výběr a konfiguraci konkrétních zařízení pro implementaci Li-Fi. Studie zhodnotila výhody a nevýhody Li-Fi oproti existujícím technologiím a zabývala se potenciálními oblastmi aplikací, jako je zdravotnictví, letecký průmysl, Industry 4.0 a podvodní aplikace.

7.2 Zhodnocení řešení problematiky práce

V rámci této práce byly identifikovány klíčové výzvy spojené s implementací technologie Li-Fi, včetně omezeného dosahu, interference s okolním světlem, bezpečnostních otázek, standardizace a interoperability, mobilních vlastností a efektivity ve venkovních prostředích. Pro každou z těchto výzev byla navržena možná řešení, která by mohla přispět k úspěšnému zavedení technologie Li-Fi a maximalizaci jejích přínosů pro společnost.

Celkově lze konstatovat, že technologie Li-Fi představuje slibnou alternativu k tradičním bezdrátovým technologiím a má potenciál zlepšit rychlost, bezpečnost a efektivitu přenosu dat. Avšak je třeba pokračovat v dalším výzkumu a vývoji, zejména v oblastech, jako je šíření spektra, bezpečnostní inovace a integrace s dalšími

bezdrátovými technologiemi, aby bylo dosaženo plného potenciálu této inovativní technologie.

8 Seznam použitých zdrojů

(1) KUMAR, Kaushal. Li –Fi (Light Fidelity) Technology: A Future Technology in Wireless Communication. Journal of Advance studies, 2016. ISSN: 2394-6245. [cit. 2024-01-18].

(2) DHAWAD Kushal, Dr. Wankhade C.M. a Kapse Shilpa. Li-Fi Technology Transmission of Data through Light, 2016. ISSN: 2348-6090. [cit. 2024-01-18].

(3) Co to je Wi-Fi? *Tp-link.com* [online]. [cit. 2024-01-18]. URL: https://www.tp-link.com/ru/wifi/

(4) Technologie Wi-Fi. *Ntools.com.ua* [online]. [cit. 2024-01-18]. URL: https://ntools.com.ua/information/faq/tehnologija-wi-fi

(5) Visible Light Communication. *Lifi.co* [online]. [cit. 2024-01-18].
URL: https://lifi.co/visible-light-communication/

(6) Free-space optics (FSO). *Techtarget.com* [online]. [cit. 2024-01-18].
URL: https://www.techtarget.com/whatis/definition/free-space-optics-FSO

(7) The Advantages and Disadvantages of Fiber Optic Transmission. *Community.fs.com* [online]. [cit. 2024-01-18]. URL: https://community.fs.com/article/the-advantages-and-disadvantages-of-fiber-optic-transmission.html

(8) Li-Fi Pros & Cons. *Lifi.co* [online]. [cit. 2024-01-18]. URL: https://lifi.co/lifi-pros-cons/

(9) HELLWIG Peter, Mana Sreelal Maravanchery, Hilt Jonas, Bober Kai Lennert, Jungnickel Volker, Hirmanova Klara, Chvojka Petr, Janca Radek, Zvanovec Stanislav. LiFi Experiments in a Hospital. [cit. 2024-01-18]

(10) CECE Beata. Li-Fi on board. *Airbus.com* [online]. [cit. 2024-02-13]. URL: https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2017-03-li-fi-on-board

(11) What is Industry 4.0? *Ibm.com* [online]. [cit. 2024-02-13]. URL: https://www.ibm.com/topics/industry-4-0#:~:text=Industry%204.0%20is%20revolutionizing%20the,facilities%20and%20throughout%20their%20operations.

(12) Li-Fi GigaDock® - Data transmission over short distances. Ipms.fraunhofer.de [online]. [cit. 2024-02-13]. URL: https://www.ipms.fraunhofer.de/en/Components-and-Systems/Components-and-Systems-Data-Communication/Li-Fi-Data-Communication/Li-Fi-GigaDock.html

(13) LUMA Fast Underwater Wireless Communication. *Hydromea.com* [online]. [cit. 2024-02-13]. URL: https://www.hydromea.com/underwater-wireless-communication

(14) Optical Wi-Fi allows for ultrafast underwater communications. *Actu.epfl.ch* [online]. [cit. 2024-02-13]. URL: https://actu.epfl.ch/news/optical-wi-fi-allows-for-ultrafast-underwater-comm/

(15) Signify představuje Trulifi: světově nejspolehlivější, vysokorychlostní LiFi systémy pro komerční účely. *Signify.com* [online]. [cit. 2024-03-07]. URL: https://www.signify.com/cs-cz/our-company/news/press-releases/2019/20190709-signify-launches-trulifi

(16) LIVINUS Chukwuemeka. Signify Trulifi 6002.1 Starter Kit System Review By LiFi Tech News. *Lifitn.com* [online]. [cit. 2024-03-07]. URL: https://www.lifitn.com/blog/trulifi6002review#Trulifi_Transceiver_6002.1_Specifications

9 Seznam obrázků

Obr. 1 Přenos a příjem dat prostřednictvím LiFi 14
Obr. 2 Scénář měření 24
Obr. 3 Možnost uplatnění Li-Fi v letadle 26
Obr. 4 Li-Fi GigaDock 28
Obr. 5 Li-Fi Luma 29
Obr. 6 Zapojení a přehrávání 30
Obr. 7 Schéma připojení 31

10 Seznam tabulek

Tab. 1 Porovnání Wi-Fi a Li-Fi 15
Tab. 2 Porovnání optických bezdrátových přenosů 18
Tab. 3 Porovnání kabelového optického přenosu a Li-Fi..... 20
Tab. 4 Hodnoty rychlostí pro různé vzdálenosti 32

11 Seznam použitých zkratek

LiFi	Light Fidelity
IoT	The Internet of Things
FSO	Free-space Optical communication
LED	Light-Emitting Diode
RF	Radio Frequency
ISP	Internet Service Provider
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
WLAN	Wireless Local Area Network
IrDA	InfraRed Data Association
VLC	Visible Light Communication
IRED	InfraRed Emitting Diode
IR	Infrared Radiation
HD	High-Definition Multimedia Interface
IPMS	International Property Measurement Standards
USB	Universal Serial Bus
LAN	Local Area Network