

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A INFORMAČNÝCH TECHNOLOGIÍ

INTERNÉ VÝSKUMNÉ STÁŽE
Letný semester AR 2025/2026

ZOZNAM PROJEKTOV



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Fakulta elektrotechniky
a informačných technológií

OBSAH

Obsah	iii
Predslov	iv
1 Elektrotechnické vedy	1-1
1.1 Mikrovaskulárne odpovede vyvolané post-okluzívnou reaktívnou hyperémiou vyšetrované pomocou fotopletyzmografického zobrazovania	1-2
1.2 Výskum metód klastrovania odberných miest v distribučných sieťach nízkeho napätia 1-5	
1.3 Inteligentné riadenie výkonu malej veternej elektrárne	1-9
1.4 Optical characterization of chiral plasmonic structures	1-11
1.5 Jednofázový aktívny harmonický filter pre aplikácie verejného osvetlenia	1-14
1.6 Riadenie Dual Active Bridge (DAB) meniča v prúdovom režime	1-16
1.7 Návrh a realizácia modulu senzora na meranie teploty a vlhkosti komunikujúceho cez P2P LoRa	1-19
1.8 Riadenie vysokoúčinného PFC usmerňovača s prúdovým injektorom	1-22
1.9 Vyšetrovanie kardiovaskulárnej dynamiky počas testu na naklonenej rovine pomocou fotopletyzmografického zobrazovania	1-25
2 Informačné a komunikačné vedy	2-1
2.1 Exploratívna analýza možností interpretovateľného spracovania bio-signálov	2-2
2.2 Fotonické integrované komponenty na platforme gálium oxidu pre ultra-krátke vlnové pásmo 2-4	
2.3 Výskum odolnosti systémov GNSS voči rušeniu	2-7
2.4 Orchestrácia dát a komunikácia pre podporu autonómnej mobility	2-9
2.5 SENT prevodník	2-12
2.6 Testovanie a metrológia prenosových parametrov optických komunikačných systémov	2-14
2.7 Základy optických komunikácií: laboratórne merania, práca s optickými vláknami a tvorba manuálov	2-17
2.8 Automatický popis multimediálneho obsahu pomocou multimodálnych modelov umelej inteligencie	2-19
2.9 Využitie generatívnych adverzariálnych sietí pri návrhu fotonických integrovaných zariadení	2-22
2.10 Digitálne dvojča mesta Žilina II	2-25
2.11 Hybridné fotonické integrované štruktúry na platforme Si ₃ N ₄ /α-Si	2-27
2.12 Tvorba vektorovej databázy pre multimodálne dáta (obrázky a textové popisy) 2-30	
2.13 Návrh mriežkových väzobných členov pre integrovanú fotoniku vo viditeľnom spektre 2-33	

PREDSLOV

Dynamický rozvoj vedy a technológií si vyžaduje nielen kontinuálne inovácie, ale aj odborníkov, ktorí sú schopní aktívne sa zapojiť do riešenia súčasných výskumných výziev. V dnešnej dobe už nestačí len pasívne prijímať poznatky – skutočný posun v rozvoji nastáva vtedy, keď študenti získajú možnosť pôsobiť na mieste, kde sa teoretické vedomosti prepájajú a aplikujú priamo v praxi. Práve tam majú priestor rozvíjať svoje kritické myslenie, pracovať s modernými technológiami a vlastným prínosom sa podieľať na tvorbe nových riešení a konceptov.

Fakulta elektrotechniky a informačných technológií Žilinskej univerzity v Žiline si uvedomuje dôležitosť prepojenia existujúceho vzdelávacieho procesu s aktívnou participáciou študentov na vedecko-výskumných projektoch svojich pedagógov a ich pracovísk. Z tohto dôvodu fakulta obnovila a systematicky rozšírila systém tzv. „*pomocných vedeckých síl*“ – teda fakultnej platformy, v rámci ktorej sú študenti platení za svoju prácu pre potreby univerzitného pracoviska. Naša fakulta ponúka študentom možnosť stať sa súčasťou aktuálneho výskumu už počas ich inžinierskeho štúdia, a to prostredníctvom programu interných výskumných stáží – *FEIT INTERNSHIPS*. Tento program bol vytvorený s cieľom poskytnúť talentovaným a ambicióznym študentom priestor na rozvoj, experimentovanie a vlastnú prácu s najmodernejšími technológiami priamo na pracoviskách našej fakulty.

Účasť na interných výskumných stážach prináša študentom množstvo benefitov – od prehĺbovania odborných znalostí a analytického myslenia, cez získavanie praktických skúseností s reálnymi výskumnými projektmi, až po nadväzovanie cenných profesijných kontaktov. Zapojením sa do výskumných tímov získajú jedinečný pohľad na riešenie komplexných problémov a budú mať možnosť pracovať po boku skúsených akademikov a odborníkov z jednotlivých oblastí pôsobenia fakulty. Tento program im umožní lepšie pochopiť, ako funguje vedecký proces, a poskytne im silný základ pre ďalší odborný alebo profesijný rast – či už v rámci akademickej dráhy, alebo v priemyselnom sektore.

Program FEIT INTERNSHIPS nie je len príležitosťou pre šikovných študentov, ale aj silným impulzom pre rozvoj fakulty a jej odborno-výskumného potenciálu. Veríme, že táto iniciatíva prispeje k zvyšovaniu kvality výskumu a výučby, ako aj k možnému efektívnejšiemu prepojeniu akademického a priemyselného sektora.

Nech je tento pilotný program FEIT INTERNSHIPS odrazovým mostíkom k spoločným budúcim vedeckým a profesijným úspechom!

Ing. Daniel Benedikovič, PhD.

Prodekan pre vedu, výskum a medzinárodné vzťahy

Fakulta elektrotechniky a informačných technológií

Žilinská univerzita v Žiline

1 ELEKTROTECHNICKÉ VEDY

1.1 Mikrovaskulárne odpovede vyvolané post-okluzívnou reaktívnou hyperémiou vyšetované pomocou fotopletyzmozografického zobrazovania

Pracovisko: Teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžinierstva

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Biomedicínske inžinierstvo

Vedúci projektu: doc. Ing. Štefan Borik, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2149	stefan.borik@uniza.sk	https://www.researchgate.net/lab/HemodynamiX-Lab-Stefan-Borik

Mikrovaskulárne odpovede vyvolané post-okluzívnou reaktívnou hyperémiou vyšetované pomocou fotopletyzmozografického zobrazovania

Opis projektu:

Kožná mikrocirkulácia predstavuje komplexný a dynamický subsystém kardiovaskulárneho systému, ktorého hlavnou úlohou je zabezpečenie výmeny plynov, živín a metabolitov medzi krvou a tkanivami, ako aj termoregulačná a ochranná funkcia. Na rozdiel od veľkých cievnych segmentov je mikrocirkulácia charakteristická výraznou priestorovou heterogenitou a silnou lokálnou reguláciou, ktorá je sprostredkovaná kombináciou myogénnych, metabolických, neurogénnych a endotel-dependentných mechanizmov. Práve táto viacúrovňová regulácia spôsobuje, že mikrovaskulárne odpovede často nie sú priamo odvoditeľné z globálnych hemodynamických parametrov, ako je arteriálny krvný tlak alebo srdcová frekvencia.

Jedným zo štandardných experimentálnych prístupov používaných na hodnotenie mikrovaskulárnej reaktivity je post-okluzívna reaktívna hyperémia (Post-Occlusive Reactive Hyperemia, PORH). Tento protokol je založený na krátkodobom prerušení arteriálneho prietoku pomocou tlakovej manžety nafúknutej nad systolický krvný tlak, po ktorom nasleduje jej rýchle uvoľnenie a fáza reperfúzie. Počas reperfúzie dochádza k výraznému, časovo ohraničenému zvýšeniu prietoku krvi v mikrocirkulácii, ktoré reflektuje integračnú odpoveď viacerých regulačných mechanizmov. Charakter tejto hyperemickej odpovede je považovaný za citlivý indikátor mikrovaskulárnej a endotelálnej funkcie.

Fyziologický základ PORH odpovede je komplexný. Počas oklúzie dochádza k lokálnej ischémii, akumulácii metabolitov a poklesu parciálneho tlaku kyslíka v tkanive. Po uvoľnení oklúzie sa uplatňujú mechanizmy rýchlej vazodilatácie, na ktorých sa podieľajú myogénne reakcie hladkého svalstva ciev, metabolické faktory, ako aj endotel-dependentné signálne dráhy, vrátane uvoľňovania oxidu dusnatého. Výsledná odpoveď má typicky charakter prudkého nárastu perfúzie s následným postupným návratom k bazálnym hodnotám, pričom časový priebeh a amplitúda tejto odpovede závisia od stavu mikrocirkulačnej regulácie.

Tradičné experimentálne štúdie PORH sa opierajú predovšetkým o bodové kontaktné metódy, ako je laserová Dopplerovská flowmetria alebo kontaktná fotopletyzmozografia. Tieto prístupy poskytujú cenné informácie o časovej dynamike perfúzie v jednom mieste, avšak neumožňujú zachytiť priestorovú distribúciu mikrovaskulárnej odpovede. Keďže kožná mikrocirkulácia je prirodzene heterogénna a jednotlivé vaskulárne oblasti môžu reagovať na ischemicko-reperfúzny podnet



rozdielnym spôsobom, bodové merania môžu viesť k neúplnej alebo skreslenej interpretácii fyziologickej odpovede.

Fotopletyzmografické zobrazovanie (Photoplethysmography Imaging, PPGI) predstavuje bezkontaktnú optickú metódu, ktorá umožňuje snímať zmeny optických vlastností kože súvisiace s pulzačnými a pomalšími zložkami prekrvenia pomocou digitálnych kamier. Na rozdiel od klasickej kontaktnej fotopletyzmografie poskytuje PPGI priestorovo rozložené informácie o dynamike perfúzie, čím otvára možnosť štúdia mikrocirkulačných procesov v širšom priestorovom kontexte. Bezkontaktný charakter metódy zároveň eliminuje vplyv mechanického tlaku senzora na merané tkanivo, čo je obzvlášť dôležité pri hodnotení jemných mikrovaskulárnych odpovedí.

Použitie PPGI v kontexte PORH protokolu umožňuje sledovať nielen globálny časový priebeh hyperemickej odpovede, ale aj jej priestorovú heterogenitu naprieč snímanou oblasťou kože. Takýto prístup poskytuje doplnujúce informácie o organizácii mikrovaskulárnej odpovede, o regionálnych rozdieloch v reaktivite a o synchronizácii či desynchronizácii odpovedí jednotlivých oblastí počas ischemicko-reperfúzneho podnetu. Z hľadiska fyziologickej interpretácie ide o významný posun od bodového hodnotenia k priestorovo-časovému pohľadu na mikrocirkulačnú reguláciu.

V rámci projektu budú realizované experimentálne merania PORH protokolu na skupine zdravých dobrovoľníkov. Arteriálna oklúzia bude vyvolaná pomocou tlakovej manžety umiestnenej na predlaktí, pričom PPGI kamera bude bezkontaktné snímať dlaň okludovanej končatiny. Takéto usporiadanie umožňuje zachytiť mikrovaskulárnu odpoveď v oblasti s bohatou cievnu sieťou a dobrou optickou dostupnosťou. Paralelne s PPGI dátami budú zaznamenávané aj vybrané referenčné fyziologické signály, najmä elektrokardiogram a kontaktná fotopletyzmografia, ktoré poskytujú časový referenčný rámec a základnú kontrolu fyziologického stavu subjektu.

Projekt je koncipovaný ako výskumná stáž zameraná na prácu s reálnymi experimentálnymi dátami, ich spracovanie a interpretáciu. Dôraz je kladený na pochopenie fyziologických súvislostí pozorovaných javov a na prepojenie technických aspektov merania s biologickou realitou mikrovaskulárneho systému. Takýto prístup umožňuje študentovi získať praktické skúsenosti s experimentálnym výskumom v oblasti biomedicínskeho inžinierstva a zároveň prispieva k rozvoju metodických prístupov založených na bezkontaktnom monitorovaní mikrocirkulácie.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom projektu výskumnej stáže je experimentálne preskúmať mikrovaskulárne odpovede kože vyvolané post-oklúziálnou reaktívnou hyperémiou (PORH) pomocou fotopletyzmografie zobrazovaním (PPGI) a zhodnotiť časovú a priestorovú dynamiku perfúzie počas oklúzie a následnej reperfúzie.

Čiastkové ciele projektu sú:

- navrhnuť a realizovať experimentálny protokol PORH vrátane arteriálnej oklúzie pomocou tlakovej manžety nafúknutej nad systolický krvný tlak,
- uskutočniť merania PORH na skupine zdravých subjektov so synchronizovaným záznamom PPGI kamerových dát z okludovanej končatiny,
- paralelne zaznamenávať referenčné fyziologické signály, najmä elektrokardiogram (EKG) a kontaktnú fotopletyzmografiu (PPG), na zabezpečenie časovej synchronizácie a porovnania dynamiky,
- spracovať a analyzovať časový priebeh hyperemickej odpovede v PPGI signáloch vrátane zmien amplitúdy a dynamiky návratu k bazálnej perfúzii,
- realizovať detailnú preliminárnu analýzu aspoň jedného reprezentatívneho subjektu s dôrazom na fyziologickú interpretáciu mikrovaskulárnej odpovede.

Projekt si kladie za cieľ prispieť k lepšiemu porozumeniu možností PPGI pri hodnotení mikrovaskulárnej reaktivity a endotelálnej funkcie počas kontrolovaných ischemicko-reperfúzných podnetov.

Metodológia projektu:

Projekt bude realizovaný experimentálne a analyticky. V úvodnej fáze stáže sa študent oboznámi s princípmi post-oklúziálnej reaktívnej hyperémie, experimentálnym protokolom PORH a používanými meracími systémami. Súčasťou prípravy bude oboznámenie sa so zásadami etiky meraní na ľudských subjektoch a so základnými postupmi zabezpečenia kvality dát.

Experimentálna časť bude pozostávať z realizácie meraní PORH protokolu na zdravých dobrovoľníkoch. Arteriálna oklúzia bude vyvolaná pomocou tlakovej manžety umiestnenej na predlaktí a nafúknutej nad hodnotu systolického krvného tlaku počas definovaného časového intervalu. Počas oklúzie a následnej reperfúzie budú bezkontaktné zaznamenávané PPGI kamerové dáta z dlane okludovanej končatiny. Paralelne budú zaznamenávané referenčné fyziologické signály, najmä elektrokardiogram (EKG) a kontaktná fotopletyzmografia (PPG), zabezpečujúce časovú synchronizáciu a kontrolu fyziologického stavu subjektu.

Analytická časť bude zahŕňať predspracovanie PPGI dát vrátane výberu oblastí záujmu, filtrácie, potlačenia artefaktov a časovej synchronizácie s referenčnými signálmi. Následne budú analyzované časové charakteristiky hyperemickej odpovede, ako aj jej priestorová distribúcia v rámci snímanej oblasti. Preliminárna detailná analýza bude realizovaná na dátach jedného reprezentatívneho subjektu, pričom výsledky budú interpretované z hľadiska mikrovaskulárnej regulácie počas ischemicko-reperfúzneho podnetu.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- dobré znalosti biomedicínskeho signálového spracovania a fyziologických meraní
- schopnosť práce s MATLABom alebo Python prostredím
- záujem o experimentálnu prácu, spracovanie dát a fyziologickú interpretáciu výsledkov

Financovanie:

prostriedky fakulty / katedry

Referencie:

- [1] Borik, S., Lyra, S., Perlitz, V., Keller, M., Leonhardt, S., & Blazek, V. (2022). On the spatial phase distribution of cutaneous low-frequency perfusion oscillations. *Scientific Reports*, 12(1), 5997.
- [2] Borik, S., Keller, M., Perlitz, V., Lyra, S., Pelz, H., Müller, G., ... & Blazek, V. (2023). On the cardiorespiratory coordination assessed by the photoplethysmography imaging technique. *Scientific Reports*, 13(1), 14645.
- [3] Seleng, J., Celovska, D., Procka, P., Labuda, M., & Borik, S. (2025). Camera-based evaluation of deep breathing effects on plantar foot microcirculation—A pilot study on young healthy. *Computers in Biology and Medicine*, 189, 109996.
- [4] Coulon, P., Constans, J., & Gosse, P. (2012). Impairment of skin blood flow during post-occlusive reactive hyperhemia assessed by laser Doppler flowmetry correlates with renal resistive index. *Journal of human hypertension*, 26(1), 56-63.
- [5] Roustit, M., & Cracowski, J. L. (2013). Assessment of endothelial and neurovascular function in human skin microcirculation. *Trends in pharmacological sciences*, 34(7), 373-384.
- [6] Cracowski, J. L., & Roustit, M. (2020). Human skin microcirculation. *Comprehensive Physiology*, 10(3), 1105-1154.

1.2 Výskum metód klastrovania odberných miest v distribučných sieťach nízkeho napätia

Pracovisko: Katedra elektroenergetiky a elektrických pohonov

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Optimalizácia a riadenie prevádzky distribučných sietí nízkeho napätia

Vedúci projektu: doc. Ing. Marek Höger, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2156

E-mail

marek.hoger@uniza.sk

Web-stránka

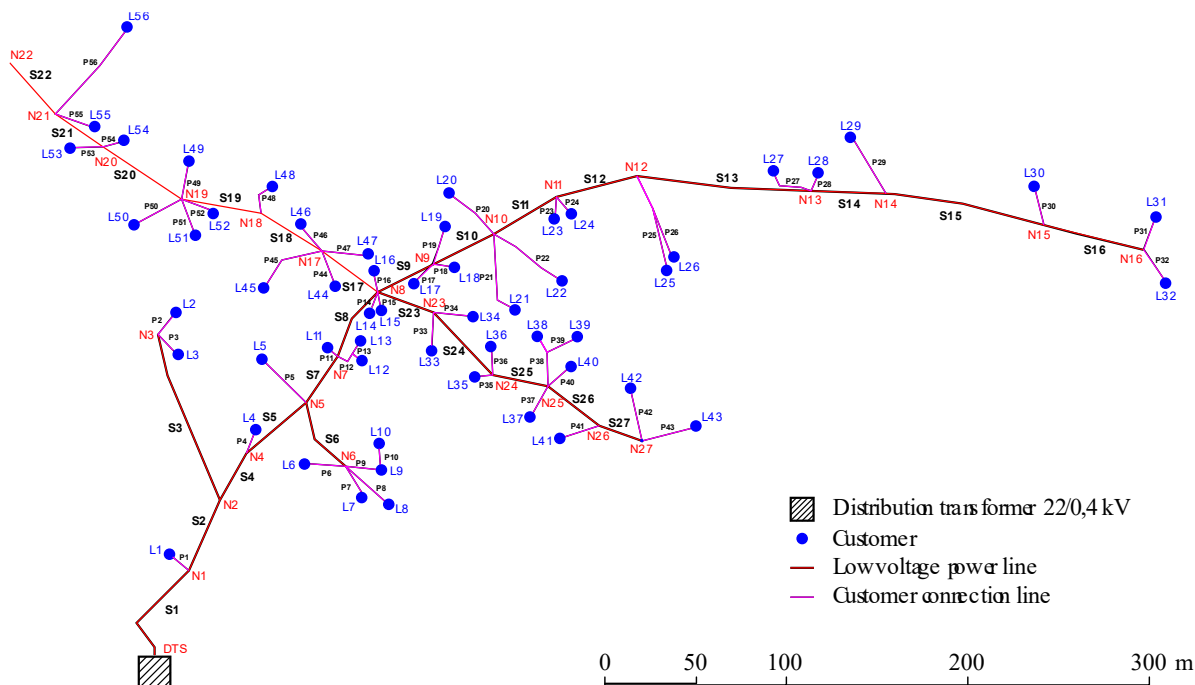
-

Výskum metód klastrovania odberných miest v distribučných sieťach nízkeho napätia

Opis projektu:

Projekt je zameraný na skúmanie vhodných metód klasterizácie záťaží v distribučných sieťach. Priamo naväzuje na problematiku riešenú v rámci bakalárskej práce Andreja Čerevku „Klasterizácia odberných miest v distribučných sieťach“ (práca získala cenu Aurela Stodolu za najlepšiu bakalársku prácu v oblasti elektroenergetiky).

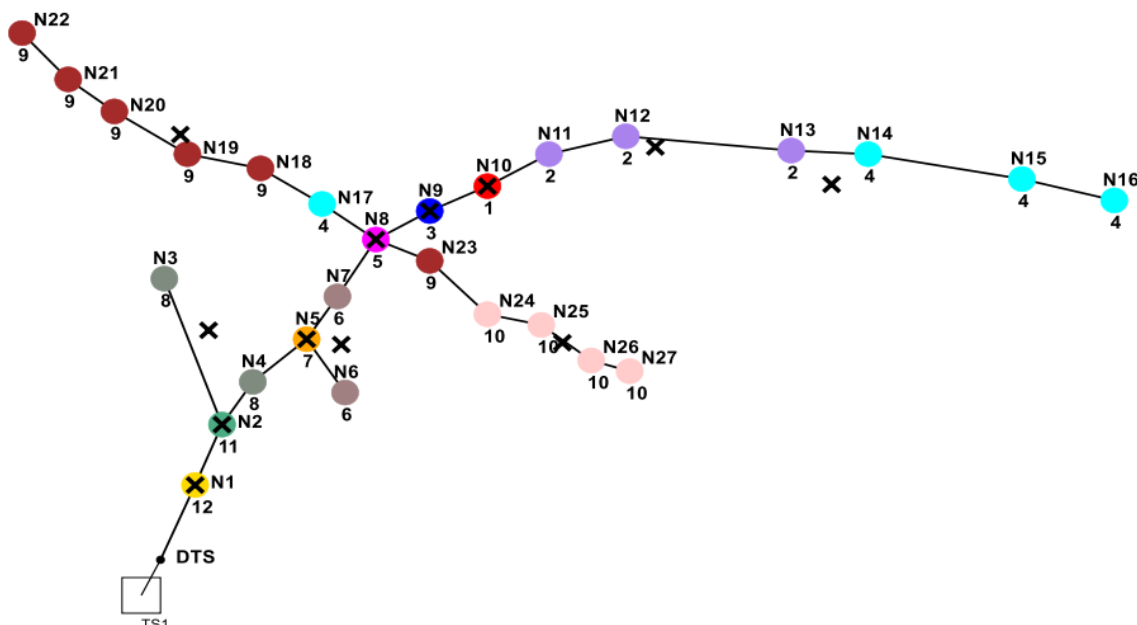
Klasterizácia odberných miest v distribučných sieťach má za cieľ znížiť počet entít pri optimalizovaní a riadení prevádzky sietí nízkeho napätia. Uzlové oblasti sietí nízkeho napätia bežne obsluhujú niekoľko desiatok až stoviek odberných miest (typicky u väčších sietí medzi 100 a 200 odberateľov), to však v prípade implementácie aktívneho riadenia odberateľov v rámci konceptov inteligentných sietí kladie veľmi vysoké nároky na použité optimalizačné techniky. Cieľom je rozdeliť odberateľov v sieti do menších skupín, ktoré by z pohľadu riadenia vystupovali ako jeden celok, čím dôjde k významnému zníženiu počtu riadených objektov v sieti. Typická štruktúra distribučnej siete nízkeho napätia v rámci menšej obce je zobrazená na obrázku 1.



Aj keď sa z hľadiska počtu odberateľov jedná skôr o menší vývod, riadenie 56 nezávislých odberných miest nie je triviálnou úlohou a pri riadení v reálnom čase by kladlo značné nároky na použitý riadiaci systém.

V rámci riešenia výskumných úloh súvisiacich s prevádzkou distribučných sietí nízkeho napätia bola na katedre KEEP navrhnutá metóda klasterizácie odberných miest predstavená v rámci konferenčného príspevku s názvom „Clustering Technique for Enhanced Optimization and Control of Distribution Networks“. Navrhnutá metodika vykazovala na prvý pohľad zaujímavé výsledky, avšak keďže sa jednalo prakticky o bočný produkt riešenia iných úloh, nebolo vykonané systematické porovnanie kvality navrhutej metódy s inými už existujúcimi riešeniami.

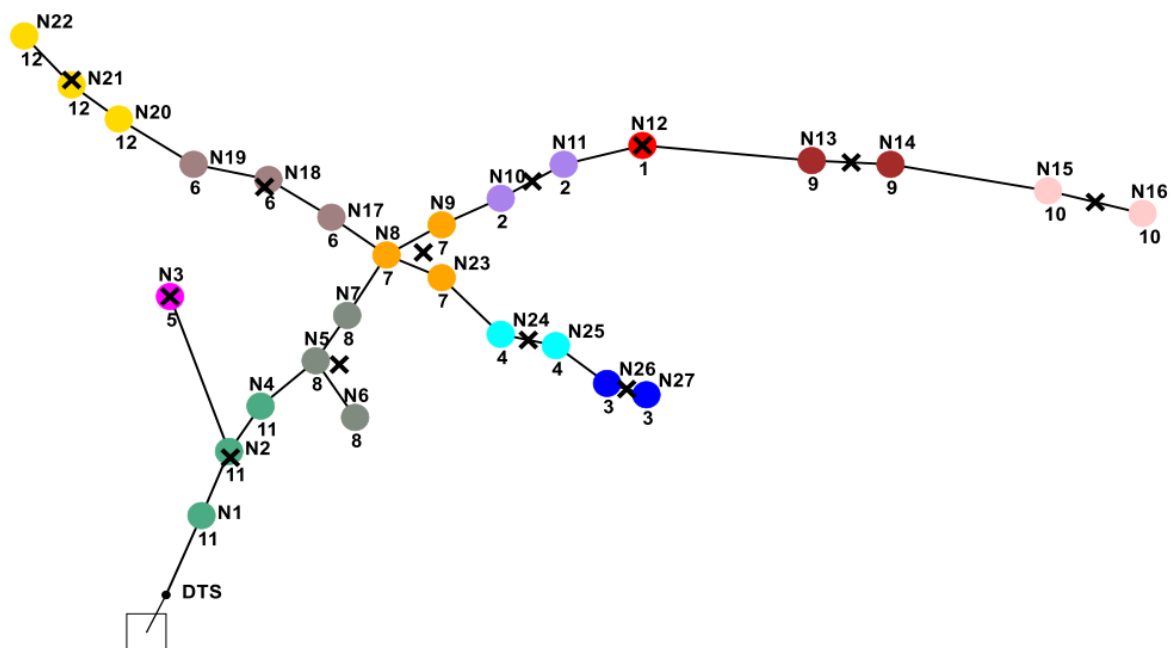
V rámci snahy o porovnanie navrhutej metodiky s existujúcimi technikami klasterizácie bola následne vypísaná vyššie uvedená bakalárska práca, ktorej hlavným cieľom bolo identifikovať existujúce metódy a techniky klasterizácie odberných miest ako aj základné overenie ich vlastností. V rámci riešenia tejto práce sa ukázalo, že tejto konkrétnej aplikácii je venovaná len veľmi malá pozornosť a problematike klasterizácie odberných miest sa venuje len minimum publikovaných vedeckých prác. Navyše, aj práce zamerané na túto tematiku sa obvykle zameriavajú najmä na klasterizáciu odberných miest z hľadiska ich profilov spotreby (identifikáciu akýchsi základných typov odberateľov). Tento typ klasterizácie nerieši zoskupovanie odberných miest s ohľadom na ich umiestnenie vo vyšetrovanej sieti a mieru ich vplyvu na prevádzkové parametre. Študent tak v rámci svojej bakalárskej práce nemohol využiť už existujúce riešenia, avšak pristúpil k systematickému skúmaniu vlastností metód používaných v týchto príbuzných aplikáciách, pričom experimentálne overil správanie celkovo ôsmich metód. Experimenty potvrdili výrazné rozdiely v správaní jednotlivých metód. Kým niektoré metód sa ukázali ako vyslovene nevhodné, iné vykazovali sľubné výsledky. Príklad nevhodného riešenia je uvedený na obrázku 2.



Obr. 2. Výsledok klasterovania pri použití metódy najbližšieho suseda. Farby pridelené jednotlivým uzlom identifikujú jednotlivé klastre.

Ako je z obrázku zrejmé, algoritmus v tomto prípade vygeneroval riešenie kde klastre sú z hľadiska topológie siete celistvé. Takéto riešenie s ohľadom na plánovanú aplikáciu vyslovene nevhodné. Príkladom je uzol N17, ktorý bol priradený klastru č. 4, pričom však ostatné uzly patriace do tohto klastra ležia až na konci kmeňovej časti vedenia (N14, N15 a N16).

Ukážka siete s perspektívnym rozložením klastrov je zobrazená na obrázku 3.



Obr. 3. Výsledky klastrovania získané pomocou Wardovej metódy

V tomto prípade je výsledok na prvý pohľad výrazne vhodnejší pre zamýšľanú aplikáciu riadenia a optimalizácie prevádzky siete. Jednotlivé klastre sú celistvé, primerane rozložené v rámci siete, optimalizačná úloha sa v tomto prípade redukuje z optimalizácie 56 nezávislých entít na optimalizáciu dvanástich entít.

Prirodzene, samotné vizuálne zdánlivo prijateľné rozdelenie jednotlivých uzlov a odberných miest do klastrov ešte neznamená, že takéto rozdelenie je aj objektívne najvhodnejšie. Práve preto je nutné definovať metodiku pre objektívne posúdenie kvality výstupov jednotlivých metód. Zároveň je nutné poznamenať, že všetky metódy boli doteraz vyšetrované len pre jeden typ siete. V praxi by bolo pre objektívne posúdenie kvality danej metódy vhodné vykonať vyšetrenie pre rôznu topológiu a veľkosť testovacej siete.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom projektu je hľadanie vhodných metód klastrovania odberných miest v distribučných sieťach nízkeho napätia za účelom ich efektívnejšieho riadenia v rámci konceptu inteligentných sietí. Veľké množstvo riadených entít predstavuje pri optimalizácii prevádzky distribučných sietí problém, najmä pri optimalizácii prevádzky v reálnom čase. Zoskupením viacerých odberných miest umožňuje znížiť množstvo riadených entít a zefektívniť tým proces optimalizácie. Zároveň je cieľom vyvinúť metodiku hodnotenia kvality dosiahnutých riešení tak, aby bolo možné objektívne hodnotiť kvalitu jednotlivých skúmaných metód.

Čiastkové ciele projektu sú definované nasledovne:

- 1) Identifikácia metód potenciálne vhodných pre klasterizáciu odberných miest. Pri riešení budeme vychádzať z výsledkov dosiahnutých v rámci riešenia bakalárskej práce „Klasterizácia odberných miest v distribučných sieťach“.
- 2) Definovanie kritérií pre hodnotenie kvality výstupov jednotlivých algoritmov. V súčasnosti nemáme jasne definovanú metodiku ktorá by umožnila objektívne posúdenie kvality jednotlivých riešení.
- 3) Overenie vlastností vybraných algoritmov a ich porovnanie s navrhovanou metodikou prezentovanou v práci „Clustering Technique for Enhanced Optimization and Control of Distribution Networks“.

Metodológia projektu:

- Rešerš odbornej literatúry s cieľom identifikovať perspektívne metódy klastrovania
- Rešerš odbornej literatúry s cieľom identifikovať používané prístupy k hodnoteniu kvality výstupov klastrovacích metód
- Definovanie metodiky hodnotenia kvality výstupov s prihliadnutím na špecifiká riešenej úlohy
- Implementácia vybraných metód v prostredí Matlab
- Praktické overenie vlastností implementovaných metód na existujúcom simulačnom modeli siete nízkeho napätia ako aj rôznych synteticky generovaných testovacích sieťach.
- Sumarizácia výsledkov a formulácia odporúčaní pre ďalší výskum

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Práca v systéme Matlab
- Schopnosť pracovať s odbornou literatúrou v anglickom jazyku
- Základné vedomosti o prevádzke distribučných sietí (parametre vedení, topológia, spôsob prevádzky)
- Základné výpočtové metódy pre riešenie statických chodov elektrických sietí

Financovanie:

Referencie:

- Čerevka, A.: Klasterizácia odberných miest v distribučných sieťach, bakalárska práca, Žilinská univerzita, 2025
- [2] Höger, M., Klimo, M. a Tkáč, M.: Clustering Technique for Enhanced Optimization and Control of Distribution Networks, in Proceedings of the International Scientific Conference Elektro 2024, Zakopane, Poland, 2024
- [3] Řezanková, Hana, Húsek, Dušan a Snášel, Václav. Shluková analýza dat (druhé rozšířené vydání). Praha: Professional Publishing, 2009. ISBN 978-80-86946-81-8.
- [4] Clustering techniques for energy losses evaluation in distribution networks. Cartina, G., Grigoras, G. a Bobric, E. C. Bucharest, Romania, 2009 : s.n., 2009. IEEE Bucharest PowerTech. s. 1-5.
- [5] Huizi, Gu, Xiaodong, Chu a Yutian, Liu. Chengdu: Partitioning Active Distribution Networks by Using Spectral Clustering., IEEE, 2020. ISBN 978-1-7281-9164-5.
- [6] Guodong, L., et al.: Optimization design of short-circuit test platform for the distribution network of integrated power system based on improved K-means clustering, Energy Reports, pp. 716-726. ISSN 2352-4847

1.3 Inteligentné riadenie výkonu malej veternej elektrárne

Pracovisko: Katedra mechatroniky a elektroniky

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Výkonová elektronika, pohony, neurónové siete

Vedúci projektu: Ing. Slavomír Kaščák, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 1621

E-mail

slavomir.kascak@uniza.sk

Web-stránka

-

Inteligentné riadenie výkonu malej veternej elektrárne

Opis projektu:

Malé veterné elektrárne (Small Wind Turbines – SWT) predstavujú dôležitý prvok decentralizovanej energetiky, najmä v lokálnych off grid systémoch, hybridných obnoviteľných zdrojoch a DC mikrogridových aplikáciách. Ich hlavnou výhodou je možnosť lokálnej výroby elektrickej energie bez potreby rozsiahlej infraštruktúry. Napriek tomu je ich reálny energetický výnos často výrazne nižší než teoretický potenciál, čo je spôsobené najmä vysokou premenlivosťou rýchlosti vetra, turbulenciami a obmedzeniami riadiacich algoritmov výkonovej elektroniky.

Kľúčovým problémom malých veterných elektrární je efektívne sledovanie bodu maximálneho výkonu (Maximum Power Point Tracking – MPPT). Tradičné MPPT algoritmy, ako napríklad Tip Speed Ratio (TSR), Power Signal Feedback (PSF) alebo Perturb & Observe (P&O), vykazujú v reálnych podmienkach obmedzenú dynamiku, zvýšené oscilácie a nižšiu účinnosť pri rýchlych zmenách vetra. Tieto nedostatky vedú k stratám dostupnej energie a zvýšenému mechanickému namáhaniu systému.

Projekt stáže je zameraný na systematickú analýzu a porovnanie klasických MPPT algoritmov pre malú veternú elektráreň so synchronným generátorom s permanentnými magnetmi (PMSG) a výkonovým meničom. Riešenie je orientované primárne na simulačné prostredie, ktoré umožňuje detailné štúdium správania systému pri rôznych veterných podmienkach vrátane turbulencií a nárazov vetra.

Systémovo je projekt postavený na reťazci: model vetra – aerodynamický model turbíny – elektrický generátor – výkonová elektronika – riadiaci algoritmus MPPT. Takýto prístup umožňuje študentovi pochopiť interakciu mechanickej a elektrickej časti systému a identifikovať hlavné zdroje energetických strát. Výsledky stáže budú slúžiť ako základ pre ďalší výskum v oblasti inteligentného riadenia, prípadne aplikácie neurónových sietí v MPPT algoritmoch.

Riešenie projektu je rozdelené na 5 postupne na seba nadväzujúcich úloh:

1. Porovnanie MPPT algoritmov pre malú veternú elektráreň (SIMULÁCIE)
2. Návrh a simulácia DC/DC meniča pre SWT aplikáciu
3. Emulácia veternej turbíny pomocou elektromotora (HIL-lite)
4. Jednoduché AI MPPT – prvý krok (SIMULÁCIA)
5. Analýza vplyvu turbulencií vetra na výkon SWT, pričom každá táto úloha predstavuje jednu internú výskumnú stáž. Projekt je teda navrhnutý pre nadväzovanie v ďalšom semestri.

Každá táto úloha je navrhnutá ako realistická a časovo zvládnuteľná úloha na obdobie troch mesiacov (1 interná výskumná stáž), pričom výstupy budú priamo využiteľné v ďalšej vedecko výskumnej činnosti pracoviska.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom projektu je analyzovať a porovnať vybrané klasické MPPT algoritmy používané v malých veterných elektrárňach z hľadiska energetického výnosu, dynamických vlastností a stability pri premenlivých veterných podmienkach.

Čiastkové ciele projektu pre 1. úlohu:

- vytvoriť simulačný model malej veternej elektrárne zahŕňajúci model vetra, aerodynamický model turbíny, PMSG generátor a výkonové elektronické rozhranie,

- implementovať a otestovať vybrané MPPT algoritmy (TSR, P&O, PSF),
- vyhodnotiť správanie algoritmov pri rôznych profiloch vetra vrátane turbulencií,
- porovnať algoritmy z hľadiska dosiahnutého výkonu, rýchlosti konvergenencie a stability,
- formulovať odporúčania pre výber MPPT stratégie vhodnej pre malé veterné elektrárne.

Metodológia projektu:

Riešenie projektu bude prebiehať v nasledujúcich krokoch:

- 1. Teoretická analýza**
 - štúdium princípov činnosti malých veterných elektrární,
 - prehľad MPPT algoritmov používaných vo veterných systémoch,
 - analýza modelov vetra a aerodynamických charakteristík turbíny.
- 2. Modelovanie systému**
 - vytvorenie modelu rýchlosti vetra vrátane náhodných fluktuácií,
 - implementácia aerodynamického modelu turbíny (C_p – λ charakteristika),
 - modelovanie PMSG generátora a výkonovej elektroniky v prostredí MATLAB/Simulink
- 3. Implementácia MPPT algoritmov**
 - implementácia algoritmov TSR, P&O a PSF,
 - integrácia algoritmov do simulačného modelu.
- 4. Simulačné experimenty**
 - simulácie pri rôznych veterných profiloch,
 - analýza prechodových javov a stability systému,
 - zber dát o výkone a účinnosti.
- 5. Vyhodnotenie výsledkov**
 - porovnanie MPPT algoritmov na základe definovaných metrík,
 - diskusia dosiahnutých výsledkov a identifikácia limitácií.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- základné znalosti elektrických strojov a výkonovej elektroniky
- skúsenosti so simulačnými nástrojmi (MATLAB/Simulink)
- základná orientácia v regulačných algoritmoch a technickej dokumentácii
- schopnosť samostatnej práce a analytického myslenia

Financovanie:

Referencie:

- [1] E. Koutroulis, K. Kalaitzakis, „Design of a Maximum Power Tracking System for Wind-Energy-Conversion Applications,“ IEEE Transactions on Industrial Electronics.
- [2] S. Heier, Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems, Wiley.
- [3] M. Chinchilla, S. Arnaltes, J. C. Burgos, „Control of permanent-magnet generators applied to variable-speed wind-energy systems,“ IEEE Transactions on Energy Conversion.
- [4] H. Li, Z. Chen, „Overview of different wind generator systems and their comparisons,“ IET Renewable Power Generation.
- [5] T. Ackermann, Wind Power in Power Systems, Wiley.
- [6] C. V. Govinda, S. V. Udhay, C. Rani, Y. Wang and K. Busawon, "A Review on Various MPPT Techniques for Wind Energy Conversion System," 2018 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), Chennai, India, 2018, pp. 310-326, doi: 10.1109/ICCPEIC.2018.8525219.

1.4 Optical characterization of chiral plasmonic structures

Workplace: Department of Physics

Research field: Elektrotechnické vedy

Specialized research area: plazmonika

Project supervisor: Mgr. Ivana Lettrichová, PhD.

Contact data:

Phone

+421 41 513 23 23/
0948 949 862

E-mail

ivana.lettrichova@uniza.sk

Web-page

-

Optical characterization of chiral plasmonic structures

Project description:

Chirality is a characteristic where a mirror image of an object cannot be superimposed on the object [1]. About half of the drugs currently in use are chiral molecules, and about 90% of these are mixtures of two enantiomers. Although they have the same chemical structure, most isomers of chiral drugs exhibit notable differences in biological activity, such as pharmacology, toxicology, pharmacokinetics, and metabolism. [2]

Recently, chiral plasmonics has emerged as a new direction of plasmonics research [3-5]. The principle lies in the fact that chiral molecules interact differently with circularly polarized light, absorbing left- (LCP) and right-handed circular polarization (RCP) to different extents. This interaction can be enhanced by coupling chiral molecules with plasmonic nanostructures. [3-5].

In Dept. of Physics, FEIT, UNIZA, we prepared chiral polymer plasmonic structures. The structures were fabricated using two-photon polymerization from IP-Dip polymer and subsequently coated with a 70 nm layer of gold. To investigate the optical behavior of the designed chiral structure, we performed numerical simulations using Ansys Lumerical FDTD. The primary objective was to analyze how the structure interacts with RCP and LCP light, focusing specifically on its transmission characteristics and the distribution of the electric field. Two broadband plane wave sources were used in the simulations, operating in different spectral ranges: 1200–1600 nm and 800–1800 nm. To assess the chiral optical response, the polarization of the source was alternated between RCP and LCP by applying a phase shift. Periodic boundary conditions were applied in the x and y directions to simulate an infinite array of structures, replicating conditions typical in fabricated metamaterial surfaces.

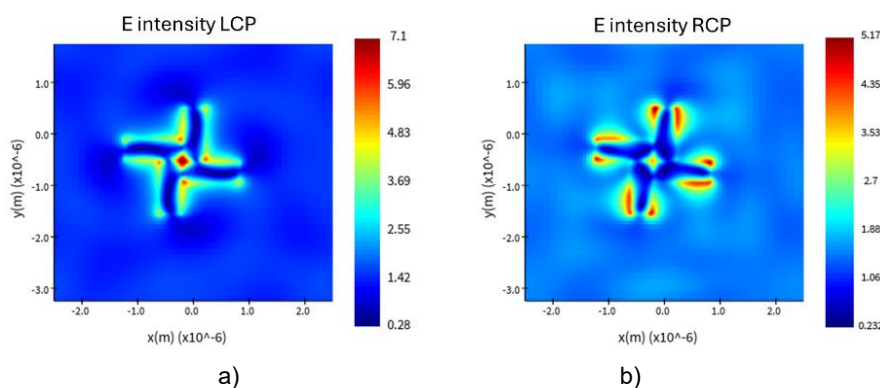


Fig. 1 Intensity of electric field for a) LCP and b) RCP.

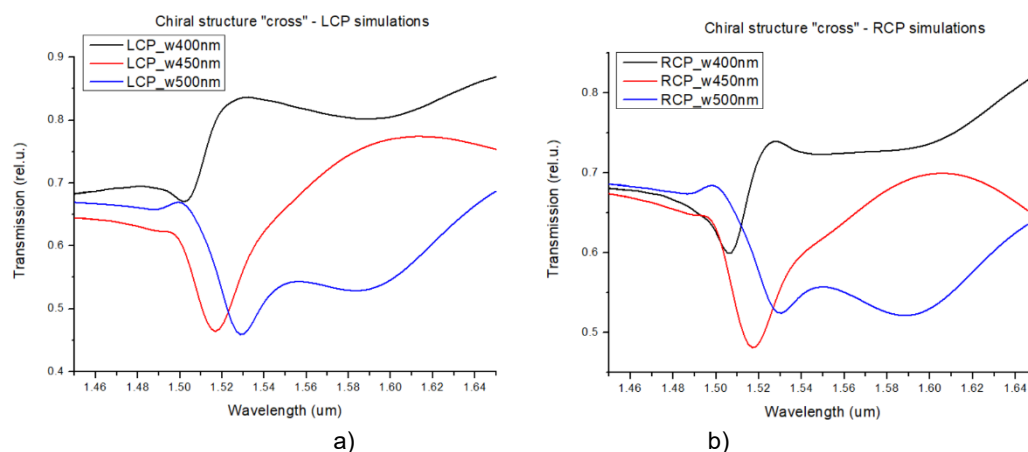


Fig. 2 Transmission of prepared structures for different structure width for a) LCP and b) RCP.

A frequency-domain power monitor was placed just above the top surface of the structure to measure the transmitted light for each polarization. The simulation was run twice for each wavelength range—once with RCP illumination and once with LCP illumination. The intensity of electric field for LCP and RCP is shown in the Fig. 1a and 1b, respectively. The transmittance spectra were calculated as well. In the Fig. 2a and b, there is shown resulting transmittance as a function of one specific dimension (width of the rectangle) for LCP and RCP, respectively. The minimum corresponding with the surface plasmon resonance is shifting with the width of the structure.

From the resulting transmission spectra, we can calculate the difference in transmission between the two polarizations. This differential response is a direct indicator of circular dichroism, revealing how strongly the structure discriminates between RCP and LCP light.

The objective of the project is to verify the simulated results by optical characterisation of prepared structures. In the first step, the experimental setup will be designed and built. It consists of the broadband light source (halogen lamp or supercontinuum laser), components for CP creation (linear polarizer and quarter-wave plate) and the detector (NIR, VIS). In the next step, radiation properties (e.g. transmittance, reflectance, NSOM) of the prepared structures will be measured and compared with the simulation results. In the last part, the optimization of the structure design will be performed.

Project objectives:

1. Experimental setup design and building
2. Optical characterization of prepared chiral polymer plasmonic structures, e.g. transmission, reflectance, NSOM
3. Comparison of measured data with simulation results
4. (optional) Optimization of structure design

Project methodology:

The experimental setup will be built by choosing the appropriate components existing in the Laboratory of laser technologies in Department of Physics, FEIT, UNIZA.

Prepared structures will be measured by transmission of VIS and NIR radiation (600-2000 nm) using supercontinuum laser or halogen lamp and detecting by VIS and NIR spectrometer. Also, NSOM is considered for highly resolved measurement of evanescent optical field.

Obtained results will be compared with simulation results by analytical tools.

Required qualities and skills for students:

- Theoretical knowledge in plasmonics
- Optical diagnostics handling (e. g. transmission, reflectance, NSOM measurements)
- Basics skills with analytical tools (Origin, Matlab)
- Critical and analytical thinking, team-work, good communication skills, fluent English

Project support and finances:

Funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project

- No. 09I03-03-V04-00602 - *3D polymer-based microstructures for plasmonics*, 06/2026
- No. 09I05-03-V02-00054 - *Grating structures for LED, laser and photonic component applications*, 05/2026

References:

- [1] A. A. Sapunova et al., *Laser-Induced Chirality of Plasmonic Nanoparticles Embedded in Porous Matrix*, *Nanomaterials* 13, 1634, 2023.
- [2] P. Y. Bruice, *Organic Chemistry* (4th Edition), Pearson Educational Books, ISBN 9780131407480.
- [3] S. A. Maier, *Plasmonics: Fundamentals and Applications*, Springer Science+Business Media LLC, New York, 2007.
- [4] L. V. Besteiro, Y. Liu, H. Okamoto, *Chirality of plasmonic structures and materials*, *The Journal of Chemical Physics* 161, 180401, 2024.
- [5] S. Zu, Y. Bao, Z. Fang, *Planar plasmonic chiral nanostructures*, *Nanoscale* 8, 3900, 2016.
- [6] I. Lettrichova et al., *NSOM measurements of V-shaped polymer-based plasmonic structures*, *Proc. SPIE* 13508, 135080V, 2025.
- [7] I. Lettrichova et al., *Polymer-based 3D microcones for application in SERS*. *Proc. SPIE* 10976, 19760V, 2018.

1.5 Jednofázový aktívny harmonický filter pre aplikácie verejného osvetlenia

Pracovisko: Katedra mechatroniky a elektroniky

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Výkonová elektronika

Vedúci projektu: Ing. Ján Morgoš, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 1605

E-mail

morgos3@uniza.sk

Web-stránka

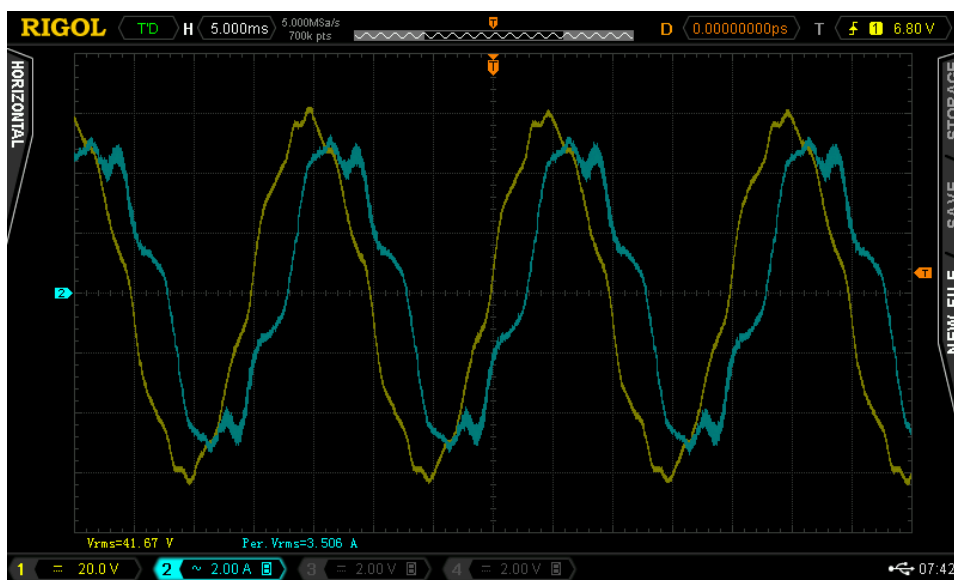
-

Jednofázový aktívny harmonický filter pre aplikácie verejného osvetlenia

Opis projektu:

Projekt návrhu aktívneho harmonického filtra rieši kvalitu odoberanej elektrickej energie v rozvážačoch verejného osvetlenia. Vzhľadom na to, že verejná osvetľovacia sústava je postupne inovovaná LED technológiou, ktorá nemá riešené PFC obvody, resp. len pasívne PFC obvody vzniká neharmonický odber prúdu. Verejné osvetlenie je tvorené desiatkami až stovkami jednotiek osvetlenia pričom ich neharmonické odbory sa sčítajú a výsledkom je silne skreslený priebeh s vysokým obsahom vyšších harmonických zložiek a so značným fázovým posunom. V konečnom dôsledku sú jalové výkony pre prevádzkovateľa sústavy spoplatnené a okrem nadmerného zaťažovania rozvodnej sústavy predražujú aj prevádzku verejného osvetlenia.

Projekt návrhu aktívneho harmonického filtra rieši kvalitu odoberanej elektrickej energie v rozvážačoch verejného osvetlenia, pričom zabezpečí aby bol odber prúdu vo fáze s napätím a aby mal sínusový priebeh s čo najmenším harmonickým skreslením. Úpravou kvality odoberanej energie je možné doceliť zníženie prevádzkových nákladov verejného osvetlenia a odstrániť aj významné množstvo harmonických rušivých zložiek.



Obr. 1: Neharmonický odber prúdu v sústave verejného osvetlenia v Žiline

Ciele projektu:

Cieľom projektu je zapojiť študenta so záujmom o techniku a inovácie do riešenia reálneho projektu. Spolupráca má obojstranné výhody pričom študent na vlastnej koži zažije akým spôsobom dochádza k plneniu požiadaviek projektu, bude zapojený do praktického návrhu zariadenia ako celku. Takáto spolupráca môže mať pozitívny dopad na budúce smerovanie aktívneho študenta na pokračovanie v 3. stupni štúdia a osvojenie si pracovných návykov a postupov pri vedeckej práci.

Na druhej strane študent poskytne dodatočné ľudské zdroje pri vypracovávaní simulačných alebo meracích úlohách počas doby trvania projektu, čím pomôže riešiteľovi naplniť ciele projektu v kratšom čase.

Metodológia projektu:

Práce na projekte budú prebiehať v rámci stanoveného harmonogramu. V prvom kroku sa určí koncepcia a topológia zapojenia, ktorú budú nasledovať simulačné analýzy. Po simulačnom odladení bude projekt transformovaný do fyzickej podoby a bude na ňom ladené digitálne riadenie. Posledným krokom bude meranie a reportovanie výsledkov vo forme vedeckého článku alebo príspevku na konferenciu.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Simulačný softvér PLECS alebo OrCAD
- Znalosť programovacieho jazyka C
- Znalosť programovania MCU STM32 alebo TMS320
- Znalosť návrhu DPS v návrhovom softvéri
- Znalosť práce s osciloskopom a meracou technikou

Financovanie:

Pre zabezpečenie financovania bude v roku 2026 podaný projekt APVV

Referencie:

- [1] Dobrucký B., Kim H., Ráček V., Roch M., Pokorný M.: Single-Phase Power Active Filter and Compensator Using Instantaneous Reactive Power Method, Proceedings of IEEE-PCC'02, Osaka, apríl 2002.
- [2] Qaisar, M.W.; Lai, J.; Fang, J. Modeling and Control of Grid-Forming Active Power Filters for Harmonic Suppression and Enhanced Power Quality. Appl. Sci. 2025, 15, 5927. <https://doi.org/10.3390/app15115927>
- [3] Samadaei, E.; Iranian, M.; Rezanejad, M.; Godina, R.; Pouresmaeil, E. Single-Phase Active Power Harmonics Filter by Op-Amp Circuits and Power Electronics Devices. Sustainability 2018, 10, 4406. <https://doi.org/10.3390/su10124406>

1.6 Riadenie Dual Active Bridge (DAB) meniča v prúdovom režime

Pracovisko: Katedra mechatroniky a elektroniky

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Výkonová elektronika

Vedúci projektu: doc. Ing. Michal Praženica, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

E-mail

Web-stránka

+421 41 513 1602

michal.prazenica@uniza.sk

-

Riadenie Dual Active Bridge (DAB) meniča v prúdovom režime

Opis projektu:

Predkladaný projekt sa zameriava na komplexný návrh, implementáciu a overenie riadenia výkonového meniča typu Dual Active Bridge (DAB) so zameraním na riadenie toku energie v prúdovom režime (current-mode control). Dual Active Bridge menič predstavuje modernú, perspektívnu topológiu výkonovej elektroniky, ktorá sa vyznačuje galvanickým oddelením, obojsmerným prenosom energie, vysokou energetickou hustotou a vysokou účinnosťou. Vďaka týmto vlastnostiam nachádza významné uplatnenie najmä v oblasti elektromobility a obnoviteľných zdrojov energie, kde je kladený dôraz na efektívnu integráciu akumulčných systémov, batériových úložísk, trakčných batérií, fotovoltických zdrojov a inteligentných energetických sietí.

Z hľadiska aplikačného využitia je DAB menič vhodný predovšetkým pre DC/DC prepojenia v trakčných systémoch elektrických vozidiel, rýchlonabíjacie stanice, medziobvodové energetické prepojenia, hybridné energetické systémy, mikrosiete a batériové energetické úložiská. Kľúčovou vlastnosťou tejto topológie je schopnosť obojsmerného prenosu energie, ktorá umožňuje nielen nabíjanie akumulátorov, ale aj spätný tok energie (rekuperáciu), integráciu systémov typu Vehicle-to-Grid (V2G) a flexibilnú správu energie v moderných energetických systémoch.

Hlavným cieľom projektu je vytvoriť riadiaci koncept, ktorý umožní presné, stabilné a dynamicky rýchle riadenie toku energie medzi dvoma jednosmernými napäťovými obvodmi prostredníctvom regulácie prúdu v energetickom prepojení DAB meniča. Na rozdiel od klasického napäťového riadenia sa projekt sústreďuje na prúdový režim regulácie, ktorý poskytuje významné výhody v oblasti stability, dynamickej odozvy systému, ochrany výkonových prvkov a presnosti regulácie výkonu. Prúdový režim riadenia umožňuje rýchlejšiu reakciu systému na zmeny záťaže, lepšiu kontrolu prenosu energie a vyššiu robustnosť voči poruchovým stavom a nelinearitám systému.

Projekt bude zahŕňať návrh vhodnej riadiacej architektúry, založenej na viacúrovňovej štruktúre regulačných slučiek, kde vnútorná prúdová slučka zabezpečuje stabilnú reguláciu prúdovej veličiny a nadradená regulačná slučka riadi tok energie v závislosti od prevádzkového režimu systému. Riadenie výkonu bude realizované prostredníctvom modulácie fázového posunu medzi primárnym a sekundárnym mostíkom DAB meniča, prípadne kombináciou viacerých modulačných stratégií. Osobitná pozornosť bude venovaná zabezpečeniu plynulých prechodov medzi jednotlivými prevádzkovými režimami, ako sú nabíjanie, vybíjanie, rekuperácia a stabilizácia energetických tokov v systéme.

Významnou súčasťou riešenia bude modelovanie a analýza systému, ktoré budú zahŕňať matematický opis dynamiky DAB meniča, energetických tokov, transformátorového prepojenia a regulačných väzieb. Na základe tohto modelu budú navrhnuté regulačné algoritmy a vykonaná analýza stability, dynamickej odozvy a robustnosti systému. Simulačné modelovanie umožní overenie správania systému v rôznych prevádzkových podmienkach ešte pred implementáciou v reálnom čase.

Kľúčovým prvkom projektu je overenie funkčnosti navrhnutého riadenia pomocou HIL simulácie (Hardware-in-the-Loop) v reálnom čase. V tomto prístupe je výkonová časť meniča nahradená presným real-time simulačným modelom, zatiaľ čo riadiaci algoritmus je implementovaný v reálnom riadiacom hardvéri. Tento koncept umožňuje realistické testovanie riadiaceho systému v bezpečnom prostredí bez rizika poškodenia výkonových komponentov. HIL simulácia poskytuje možnosť testovania dynamickej odozvy systému, overenia stability regulácie, analýzy správania pri poruchových stavoch, zmenách záťaže, kolísaní vstupných napätí a prechodových javoch.

Výsledkom projektu bude validovaný koncept riadenia DAB meniča v prúdovom režime, experimentálne overený v reálnom čase pomocou HIL simulácie. Tento koncept bude predstavovať technicky realizovateľné riešenie pre moderné energetické aplikácie, s potenciálom priameho využitia v oblasti elektromobility, inteligentných energetických sietí, obnoviteľných zdrojov energie a akumulčných systémov.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom projektu je návrh, implementácia a overenie riadenia výkonového meniča typu Dual Active Bridge (DAB) v prúdovom režime riadenia so zameraním na presné a stabilné riadenie obojsmerného toku energie medzi dvoma jednosmernými napäťovými obvodmi, s využitím v oblasti elektromobility a obnoviteľných zdrojov energie.

Čiastkové ciele:

1. **Teoretická analýza DAB meniča** - Vykonať podrobnú analýzu princípu činnosti DAB meniča, jeho energetických tokov, pracovných režimov a spôsobov riadenia so zameraním na prúdový režim regulácie.
2. **Modelovanie systému** - Vytvoriť matematický a simulačný model DAB meniča vrátane transformátora, výkonových polovodičových prvkov, filtrov a záťaže, vhodný pre návrh riadiacich algoritmov.
3. **Návrh riadiacej štruktúry** - Navrhnuť riadiaci systém v prúdovom režime, vrátane syntézy regulačných slučiek a zabezpečenia obojsmerného prenosu energie.
4. **Návrh regulačných algoritmov** - Implementovať a simulačne overiť algoritmy riadenia toku energie umožňujúce plynulý prechod medzi jednotlivými prevádzkovými režimami.
5. **Implementácia v reálnom čase** - Implementovať navrhnuté riadenie do mikropočítača rodiny C2000.

HIL simulácia a verifikácia - Overiť funkčnosť navrhnutého riadenia prostredníctvom Hardware-in-the-Loop simulácie v reálnom čase, so zameraním na stabilitu regulácie, dynamickú odozvu, robustnosť voči poruchám a zmenám prevádzkových podmienok.

Metodológia projektu:

Riešenie projektu bude realizované systematickým, viacstupňovým výskumno-vývojovým postupom, ktorý kombinuje teoretickú analýzu, modelovanie, návrh riadenia, implementáciu a experimentálne overenie:

1. Analýza súčasného stavu poznania (state-of-the-art)
2. Teoretická analýza a matematický opis systému
3. Simulačné modelovanie
4. Návrh riadiacej štruktúry v prúdovom režime
5. Návrh regulačných algoritmov
6. Implementácia riadenia
7. HIL simulácia v reálnom čase
8. Experimentálne vyhodnotenie a validácia

Požadované kvality/znalosti študenta:

- pokročilé znalosti z oblasti výkonovej elektroniky
- znalosti teórie automatického riadenia, regulačných obvodov a návrhu regulačných algoritmov
- schopnosť pracovať so simulačnými nástrojmi (PLECS)
- skúsenosti s návrhom a implementáciou digitálneho riadenia
- základná orientácia v oblasti HIL simulácie (Hardware-in-the-Loop) a real-time systémov.
- schopnosť analytického myslenia a systematického riešenia problémov.

Financovanie:

Táto téma nie je momentálne predmetom riešenia žiadneho výskumného projektu financovaného z rozpočtu Ministerstva školstva, alebo štrukturálnych fondov.

Referencie:

1. Talbi, S., Mpanda Mabwe, A. & El Hajjaji, A. *Control of a bidirectional dual active bridge converter for charge and discharge of a Li-Ion Battery*. In: *Proceedings of the 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, 2015, s. 849–856.
2. George, K. *Design and Control of a Bidirectional Dual Active Bridge DC-DC Converter to Interface Solar, Battery Storage, and Grid-Tied Inverters*. Bachelor's Thesis, University of Arkansas, Fayetteville, AR, USA, 2015.

3. Aggeler, D. *Bidirectional Galvanically Isolated 25 kW 50 kHz 5 kV/700 V Si-SiC SuperCascode/Si-IGBT DC-DC Converter*. PhD Thesis, ETH Zurich, Zurich, Switzerland, 2010.
4. Song, C., Chen, A., Pan, Y., Du, C. & Zhang, C. *Modeling and Optimization of Dual Active Bridge DC-DC Converter with Dead-Time Effect under Triple-Phase-Shift Control*. *Energies*, 2019, vol. 12, no. 6, article 973, 18 p. doi:10.3390/en12060973.
5. Texas Instruments. *Bidirectional, Dual Active Bridge Reference Design for Level 3 Electric Vehicle Charging Stations – Design Guide: TIDA-010054*. Texas Instruments, 2025 (reference design).
6. STMicroelectronics. *25 kW Dual Active Bridge Bidirectional Power Converter for EV Charging and Battery Energy Storage Systems – STDES-DABBIDIR*. Data brief, STMicroelectronics, 2023.
7. P. Pal, R. K. Behera, B. Chikondra, O. Al Zaabi & K. Al Hosani, *Modified Single Phase Shift Control of DAB Converter for Fast Dynamic Response under Various Disturbances*. In: *48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, Brussels, Belgium, 17.–20. Oct. 2022, s. 1–6.

1.7 Návrh a realizácia modulu senzora na meranie teploty a vlhkosti komunikujúceho cez P2P LoRa

Pracovisko: Katedra mechatroniky a elektroniky

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Senzorika

Vedúci projektu: Ing. Patrik Resutík, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

E-mail

Web-stránka

+421 41 513 1605

patrik.resutik@uniza.sk

-

Návrh a realizácia modulu senzora na meranie teploty a vlhkosti komunikujúceho cez P2P LoRa

Opis projektu:

Projekt je zameraný na návrh, realizáciu a praktické overenie autonómneho senzorického modulu určeného na meranie teploty a vlhkosti prostredia s bezdrôtovou komunikáciou prostredníctvom P2P LoRa technológie v pásme 868,125 MHz. Hlavným cieľom je vytvoriť kompaktné, energeticky efektívne zariadenie, ktoré bude schopné dlhodobej prevádzky na batériové napájanie bez potreby častého zásahu používateľa.

Projekt zahŕňa kompletný vývoj hardvérového riešenia – od výberu vhodných nízkopríkonových komponentov, návrhu elektrickej schémy a plošného spoja (DPS), až po výrobu, osadenie a oživenie funkčného prototypu. Súčasťou realizácie je aj návrh firmvéru pre riadenie merania, spracovanie nameraných údajov a ich periodické odosielanie prostredníctvom LoRa modulu do prijímacieho uzla. Dôraz je kladený na optimalizáciu spotreby energie celého systému. Zariadenie bude navrhnuté tak, aby väčšinu času pracovalo v hlbokom spánkovom režime s minimálnym odberom prúdu a aktivovalo sa len v definovaných intervaloch na vykonanie merania a prenos dát. Periodicita merania a komunikácie bude navrhnutá s ohľadom na dosiahnutie maximálnej životnosti batérie pri zachovaní funkčnej hodnoty získavaných údajov.

Výsledkom projektu bude funkčný prototyp senzorického modulu, ktorý bude prakticky overený z hľadiska presnosti merania, spoľahlivosti komunikácie, dosahu LoRa prenosu a reálnej spotreby energie v rôznych prevádzkových režimoch. Projekt slúži ako komplexná ukážka návrhu nízkopríkonového IoT zariadenia od konceptu až po reálnu implementáciu v podobe fyzického zariadenia.

Ciele projektu:

Cieľom projektu je návrh a realizácia samostatného modulu senzora na meranie teploty a vlhkosti, ktorý bude komunikovať pomocou P2P (peer-to-peer) LoRa komunikácie v pásme 868,125 MHz. Projekt je zameraný nielen na funkčnú realizáciu zariadenia, ale predovšetkým na optimalizáciu jeho energetickej náročnosti s cieľom dosiahnuť ultra nízku spotrebu v rádoch jednotiek mikroampérov v režime spánku.

Hlavným výstupom projektu bude kompletný návrh elektronického riešenia, ktorý zahŕňa:

- výber vhodných nízkopríkonových komponentov,
- návrh elektrickej schémy,
- návrh plošného spoja (DPS),
- výrobu a osadenie DPS,
- oživenie a praktické testovanie funkčnosti modulu.

Zariadenie bude periodicky merať teplotu a vlhkosť okolitého prostredia a tieto údaje bude v definovaných intervaloch odosielať prostredníctvom LoRa modulu do prijímacieho uzla. Periodicita odosielania dát bude optimalizovaná tak, aby bola zachovaná rovnováha medzi informačnou hodnotou dát a spotrebou energie.

Metodológia projektu:

Metodológia realizácie internej stáže je postavená na systematickom, inžinierskom prístupe k návrhu, vývoju a overeniu funkčného technického riešenia. Projekt bude realizovaný v niekoľkých logicky

nadväzujúcich fázach, ktoré pokrývajú celý životný cyklus zariadenia – od analýzy požiadaviek až po praktickú verifikáciu prototypu.

Prvou fázou bude analýza požiadaviek a špecifikácie systému, v rámci ktorej budú definované funkčné a nefunkčné požiadavky na zariadenie. Táto fáza zahŕňa určenie cieľových parametrov spotreby energie, dosahu komunikácie, presnosti merania, periodicity odosiadania dát a prevádzkových podmienok. Výstupom bude technická špecifikácia, ktorá bude slúžiť ako základ pre ďalší návrh.

Nasleduje fáza výberu komponentov, ktorá bude zameraná na identifikáciu vhodných nízkoprikonových elektronických súčiastok. Dôraz bude kladený na mikrokontrolér s ultra nízkou spotrebou, digitálny senzor teploty a vlhkosti s vysokou presnosťou a minimálnym odberom, LoRa komunikačný modul pracujúci v pásme 868,125 MHz a energeticky efektívne napájacie obvody. Výber komponentov bude podložený analýzou datasheetov, porovnaním parametrov a hodnotením ich vhodnosti pre nízkoprikonové aplikácie.

V ďalšej etape bude realizovaný návrh hardvéru, ktorý zahŕňa vytvorenie elektrickej schémy a návrh plošného spoja (DPS). Pri návrhu DPS budú aplikované zásady pre nízkoprikonové obvody, správne vedenie napájacích vetiev, minimalizáciu rušenia a návrhové pravidlá pre vysokofrekvenčné RF časti LoRa komunikácie. Návrh bude realizovaný v profesionálnom CAD prostredí pre návrh elektroniky.

Po dokončení návrhu bude nasledovať fáza výroby a osadenia prototypu, ktorá zahŕňa výrobu DPS, osadenie komponentov a vizuálnu a elektrickú kontrolu zapojenia. Následne bude prebiehať oživenie zariadenia, postupné testovanie jednotlivých blokov systému a odstraňovanie prípadných funkčných alebo návrhových chýb.

Paralelne s hardvérovým vývojom bude prebiehať vývoj firmvéru, ktorý bude zabezpečovať riadenie merania, komunikáciu so senzorom, spracovanie dát a P2P LoRa komunikáciu. Programová logika bude optimalizovaná s dôrazom na minimalizáciu aktívneho času mikrokontroléra, efektívne využívanie spánkových režimov a energeticky úsporný spôsob prenosu dát.

Záverečnou fázou metodológie bude testovanie a verifikácia, ktoré bude zahŕňať funkčné testy, meranie spotreby energie v rôznych prevádzkových režimoch, testovanie dosahu a spoľahlivosti LoRa komunikácie, ako aj overenie presnosti merania teploty a vlhkosti. Na základe výsledkov testovania budú identifikované možnosti optimalizácie a prípadné návrhové úpravy.

Metodológia stáže je koncipovaná ako iteratívny proces, ktorý umožňuje priebežné zlepšovanie návrhu na základe praktických meraní a testovania. Tento prístup podporuje nielen technickú kvalitu výsledného riešenia, ale aj rozvoj systematického inžinierskeho myslenia, samostatnosti a schopnosti riešiť komplexné technické problémy v reálnom vývojovom prostredí.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Technická samostatnosť a zodpovednosť
- Záujem o embedded systémy a elektroniku
- Analytické a systematické myslenie
- Skúsenosti s vývojom embedded aplikácií
- Precíznosť a technická disciplína

Financovanie:

Táto téma nie je momentálne predmetom riešenia žiadneho výskumného projektu financovaného z rozpočtu Ministerstva školstva, alebo štrukturálnych fondov.

Referencie:

1. **ETSI.** *ETSI EN 300 220: Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range.* [online]. European Telecommunications Standards Institute. Dostupné na: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300200_300299/30022002/03.03.01_60/en_30022002v03_0301p.pdf **Prístup: 18. 1. 2026.**
2. **SEMTECH CORPORATION.** *LoRa® Technology Overview.* [online]. Semtech. Dostupné na: <https://www.semtech.com/technology/lorar>. **Prístup: 18. 1. 2026.**
3. **SEMTECH CORPORATION.** *LoRa Sensor Node Guide.* [online]. Semtech Corp. Dostupné na: <https://www.digikey.at/htmldatasheets/production/1951696/0/0/1/lorar-sensor-node-guide.html>. **Prístup: 18. 1. 2026.**
4. **WIKIPEDIA.** *LoRa – Wireless communication technology.* [online]. Wikipedia. Dostupné na: <https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa>. **Prístup: 18. 1. 2026.**
5. **RENESAS ELECTRONICS.** *LoRa-based Solutions for RA MCUs: Efficient IoT Connectivity at Low Power.* [online]. Renesas. Dostupné na:

<https://www.renesas.com/en/applications/communications-infrastructure/wireless-infrastructure/lora-solutions/lora-solution-ra>. **Prístup: 18. 1. 2026.**

6. **ARXIV.** Maleki, A., Nguyen, H. H., Bedeer, E., & Barton, R. *A Tutorial on Chirp Spread Spectrum for LoRaWAN: Basics and Key Advances*. [online]. arXiv preprint arXiv:2310.10503, 2023. Dostupné na: <https://arxiv.org/abs/2310.10503>. **Prístup: 18. 1. 2026.**
7. **MICROCHIP TECHNOLOGY INC.** *AN1416 – Low-Power Design Guide*. [online]. Microchip. Dostupné na: <https://www.microchip.com/en-us/application-notes/an1416>. **Prístup: 19. 1. 2026.**

1.8 Riadenie vysokoúčinného PFC usmerňovača s prúdovým injektorom

Pracovisko: Katedra mechatroniky a elektroniky

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Výkonová elektronika

Vedúci projektu: Ing. Jozef Šedo, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 1610

E-mail

jozef.sedo@uniza.sk

Web-stránka

-

Riadenie vysokoúčinného PFC usmerňovača s prúdovým injektorom

Opis projektu:

Projekt je zameraný na návrh, modelovanie, implementáciu a analýzu riadiaceho systému vysokoúčinného PFC (Power Factor Correction) usmerovača s prúdovým injektorom, určeného pre použitie v modulárnych napájacích systémoch s vysokými nárokmi na účinnosť, kvalitu energie a spoľahlivosť, predovšetkým v prostredí dátových centier a kritickej infraštruktúry. Hlavným predmetom výskumu nie je samotná výkonová topológia, ale pokročilé metódy riadenia, ktoré umožňujú dosiahnuť optimálne vlastnosti systému z hľadiska kvality vstupného prúdu, energetickej účinnosti, stability regulácie a dynamickej odozvy.

PFC usmerňovače predstavujú kľúčový prvok moderných výkonových napájacích systémov, keďže zabezpečujú nielen konverziu striedavého napätia na jednosmerné, ale aj aktívne formovanie vstupného prúdu tak, aby bol v súlade s priebehom sieťového napätia. Vysoká kvalita tvaru vstupného prúdu je nevyhnutná z pohľadu znižovania harmonického skreslenia (THD), zlepšenia účinníka a minimalizácie negatívnych vplyvov na distribučnú sieť. V navrhovanom projekte je tento princíp rozšírený o koncept prúdového injektora, ktorý umožňuje aktívnu injekciu korekčného prúdu do vstupného obvodu, čím sa dosahuje presnejšie tvarovanie prúdového priebehu, potlačanie vyšších harmonických zložiek a vyššia kvalita napájania.

Ťažiskom projektu je návrh riadiacej architektúry systému, ktorá zabezpečuje koordinované riadenie všetkých funkčných častí usmerňovača. Riadiaci systém je koncipovaný ako viacsľučková regulačná štruktúra, pozostávajúca z rýchlej vnútornej prúdovej regulačnej slučky, pomalšej vonkajšej napäťovej regulačnej slučky DC medziobvodu, riadiacej slučky prúdového injektora a synchronizačnej slučky zabezpečujúcej fázové zosúladenie so sieťovým napätím. Táto štruktúra umožňuje presné generovanie referenčných prúdov, stabilnú reguláciu napätia medziobvodu a adaptívne riadenie prúdovej injekcie v reálnom čase.

Osobitná pozornosť je venovaná návrhu regulačných algoritmov. Cieľom je dosiahnuť vysokú robustnosť regulácie voči zmenám zaťaženia, kolísaniu vstupného napätia, poruchovým stavom v sieti a neistotám parametrov výkonových prvkov. Riadiaci systém je navrhnutý ako digitálny, implementovaný na platforme DSP a FPGA, čo umožňuje flexibilnú modifikáciu regulačných algoritmov a ich optimalizáciu v priebehu vývoja.

Dôležitým aspektom projektu je optimalizácia energetickej účinnosti prostredníctvom riadenia. Riadenie systému nie je zamerané len na kvalitu prúdu, ale aj na minimalizáciu výkonových strát. To zahŕňa optimalizáciu spínacích stratégií, adaptívne riadenie spínacej frekvencie, optimalizáciu prúdových tvarov, ako aj inteligentné riadenie prúdovej injekcie v závislosti od zaťaženia. Osobitný dôraz sa kladie na dosahovanie vysokej účinnosti aj pri čiastočnom zaťažení, ktoré je typické pre reálne prevádzkové podmienky modulárnych napájacích systémov v dátových centrách.

Projekt je koncipovaný v kontexte modulárnej architektúry napájacích zdrojov, kde viacero výkonových modulov pracuje paralelne v jednej napájacej sústave. Riadiaci systém v tomto prípade zabezpečuje nielen reguláciu jednotlivých modulov, ale aj ich vzájomnú koordináciu. Kľúčovými funkciami sú riadenie zdieľania výkonu (current sharing), dynamické vyvažovanie zaťaženia medzi modulmi, zabezpečenie redundancie a stabilita systému pri paralelnom radení viacerých zdrojov. Riadenie sa tak stáva centrálnym prvkom zabezpečenia spoľahlivosti a prevádzkovej dostupnosti celého napájacieho systému.

V kontexte dátových centier má navrhovaný systém významný aplikačný potenciál. Moderné dátové centrá kladú extrémne nároky na energetickú účinnosť, spoľahlivosť, kvalitu napájania a škálovateľnosť. Riadený modulárny PFC usmerňovač s prúdovým injektorom predstavuje

perspektívne riešenie, ktoré umožňuje znižovať energetické straty, zlepšovať PUE (Power Usage Effectiveness), znižovať tepelné zaťaženie chladiacich systémov a zvyšovať celkovú prevádzkovú efektivitu infraštruktúry.

Súčasťou projektu je vytvorenie matematického modelu systému, ktorý zahŕňa model výkonového obvodu, prúdového injektora a riadiacich slučiek. Tento model je následne využitý na simulácie v nástrojoch ako MATLAB/Simulink alebo PLECS, kde sú analyzované vlastnosti regulácie, stabilita systému, dynamická odozva a správanie pri poruchových stavoch. Simulačné výsledky slúžia ako základ pre návrh regulačných parametrov a optimalizáciu riadiacich algoritmov.

Výstupom projektu je návrh komplexnej riadiacej koncepcie PFC usmerňovača s prúdovým injektorom, overenej simuláciami, ktorá je pripravená na experimentálnu implementáciu. Projekt tak spája teoretický výskum v oblasti výkonovej elektroniky a automatického riadenia s praktickými požiadavkami moderných energetických systémov. Výsledné riešenie predstavuje perspektívny príspevok k vývoju vysokoúčinných, inteligentne riadených a modulárnych napájacích systémov pre budúce energetické a informačné infraštruktúry.

Ciele projektu:

Navrhnuť a overiť pokročilý riadiaci systém vysokoúčinného PFC usmerňovača s prúdovým injektorom určeného pre modulárne napájacie systémy, s dôrazom na kvalitu vstupného prúdu, energetickú účinnosť, stabilitu regulácie a aplikačnú využiteľnosť v dátových centrách. Čiastkové ciele:

1. Analýza existujúcich riadiacich koncepcií PFC usmerňovačov
2. Vytvorenie matematického modelu systému
3. Návrh riadiacej architektúry systému
4. Návrh a implementácia regulačných algoritmov
5. Optimalizácia riadenia z hľadiska energetickej účinnosti
6. Simulačné overenie vlastností systému
7. Analýza robustnosti riadenia
8. Príprava podkladov pre experimentálnu realizáciu

Metodológia projektu:

Riešenie projektu je koncipované ako systematický, viacfázový výskumno-vývojový proces, ktorý integruje teoretickú analýzu, matematické modelovanie, návrh riadiacich algoritmov, simulačné overovanie a prípravu implementačnej architektúry.

1. Analýza súčasného stavu poznania (state-of-the-art)

V prvej fáze bude realizovaná systematická analýza odbornej literatúry z oblasti aktívnych PFC usmerňovačov, systémov s prúdovou injekciou, modulárnych napájacích architektúr a moderných metód riadenia výkonových meničov. Analýza sa zameria na:

- identifikáciu existujúcich riadiacich koncepcií,
- porovnanie regulačných štruktúr,
- identifikáciu limitov súčasných riešení,

Výstupom tejto fázy bude formulácia požiadaviek na navrhovaný riadiaci systém.

2. Definovanie systémovej architektúry

Na základe analytickej fázy bude definovaná celková architektúra systému, zahŕňajúca výkonový obvod, prúdový injektor, DC medziobvod a riadiaci subsystém. Osobitná pozornosť bude venovaná rozhraniám medzi výkonovou a riadiacou časťou systému, štruktúre merania veličín, spôsobu generovania referenčných signálov a štruktúre spätných väzieb. Výstupom bude funkčný model systému a bloková schéma riadiacej architektúry.

3. Návrh riadiacej štruktúry

Viacslučková regulačná architektúra systému zahŕňajúca:

- vnútornú prúdovú regulačnú slučku,
- vonkajšiu napäťovú regulačnú slučku,
- regulačnú slučku prúdového injektora,
- synchronizačnú slučku (PLL)

Bude definovaná hierarchia regulačných slučiek, ich dynamika a vzájomné väzby.

4. Návrh regulačných algoritmov

Pre jednotlivé regulačné slučky budú navrhnuté regulačné algoritmy. Výber regulátorov bude založený na kritériách stability, robustnosti, dynamickej odozvy a výpočtovej náročnosti.

5. Optimalizácia riadenia z hľadiska účinnosti

Bude realizovaná optimalizácia riadiacich algoritmov so zameraním na minimalizáciu spínacích strát, optimalizáciu prúdových priebehov, optimalizáciu injekcie prúdu v závislosti od zaťaženia.

Cieľom je dosiahnuť vysokú energetickú účinnosť systému v širokom rozsahu prevádzkových režimov.

6. Simulačné overovanie

Navrhnuté modely a riadiace algoritmy budú implementované v simulačných nástrojoch (MATLAB/Simulink, PLECS). Simulácie budú realizované pre rôzne prevádzkové stavy.

7. Analýza robustnosti a stability

Na základe simulačných výsledkov bude vykonaná analýza stability systému a analýza robustnosti voči parametrovým neistotám a poruchám.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- pokročilé znalosti z oblasti výkonovej elektroniky
- znalosti teórie automatického riadenia, regulačných obvodov a návrhu regulačných algoritmov
- schopnosť pracovať so simulačnými nástrojmi (PLECS, MATLAB/Simulink)
- skúsenosti s návrhom a implementáciou digitálneho riadenia
- schopnosť analytického myslenia a systematického riešenia problémov.

Financovanie:

Táto téma nie je momentálne predmetom riešenia žiadneho výskumného projektu financovaného z rozpočtu Ministerstva školstva, alebo štrukturálnych fondov.

Referencie:

1. Yoo, H., & Sul, S. K. A novel approach to reduce line harmonic current for a three-phase diode rectifier-fed electrolytic capacitor-less inverter. In: Proceedings of the Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2009), Washington, DC, USA, 15–19 Feb. 2009, s. 1897–1903.
2. Pejović, P. & Janda, Z. Optimal current programming in three-phase high-power-factor rectifier based on two boost converters. IEEE Transactions on Power Electronics, 1998, vol. 13, no. 6, s. 1152–1163.
3. Soeiro, T. B., Vancu, F. & Kolar, J. W. Hybrid active third-harmonic current injection mains interface concept for DC distribution systems. IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, vol. 28, no. 1, s. 7–13, doi:10.1109/TPEL.2012.2209897.
4. Soeiro, T. B., Kolar, J. W. & Schrittwieser, L. 99% efficient three-phase buck-type SiC MOSFET PFC rectifier minimizing life cycle cost in DC data centers. CPSS Transactions on Power Electronics and Applications, 2017, vol. 2, no. 1, s. 47–58, doi:10.24295/CPSSTPEA.2017.00006.
5. SCHRITTWIESER, Lukas. Ultra-Efficient Three-Phase Buck-Type PFC Rectifier Systems. PhD Thesis,. Zürich: ETH Zürich, 2018.

1.9 Vyšetrovanie kardiovaskulárnej dynamiky počas testu na naklonenej rovine pomocou fotopletyzmografického zobrazovania

Pracovisko: Teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžinierstva

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Biomedicínske inžinierstvo

Vedúci projektu: Ing. Soňa Šikyňová

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 5095	sona.sikynova@feit.uniza.sk	https://www.researchgate.net/lab/HemodynamiX-Lab-Stefan-Borik

Vyšetrovanie kardiovaskulárnej dynamiky počas testu na naklonenej rovine pomocou fotopletyzmografického zobrazovania

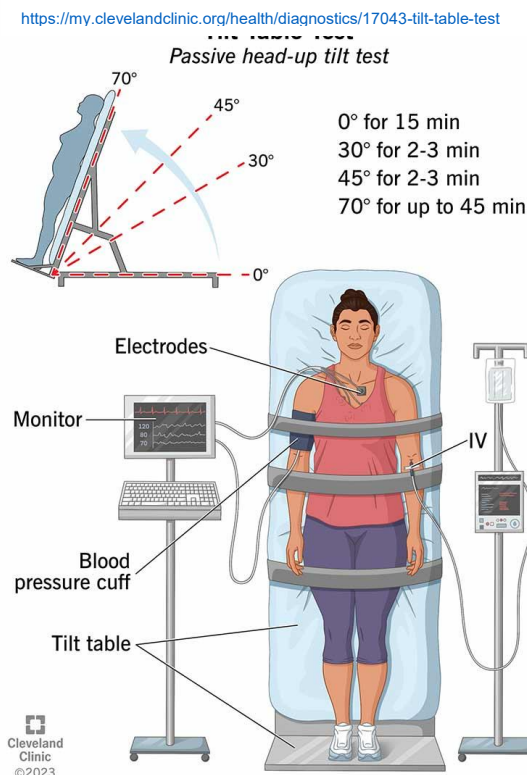
Opis projektu:

Kardiovaskulárny systém človeka funguje ako dynamický regulačný systém, ktorého hlavnou úlohou je zabezpečiť primeranú perfúziu orgánov a tkanív za širokého spektra fyziologických podmienok. Jedným zo základných fyzikálnych faktorov, ktorému musí tento systém neustále čeliť, je gravitačné pole Zeme. Zmena polohy tela voči gravitačnému poľu vedie k okamžitej redistribúcii krvného objemu, najmä medzi centrálnymi a periférnymi cievnymi kompartmentmi. Udržiavanie stabilného arteriálneho tlaku a dostatočného prekrvenia vitálnych orgánov pri takýchto zmenách si vyžaduje rýchlu a koordinovanú odpoveď autonómnej regulácie.

Ortostatická záťaž predstavuje prirodzený fyziologický podnet, pri ktorom dochádza k presunu krvi do dolných častí tela v dôsledku gravitačných síl. Tento presun vedie k zníženiu venózneho návratu, poklesu plniacich tlakov srdca a následnému zníženiu systolického objemu. Bez kompenzačných mechanizmov by tieto zmeny viedli k poklesu arteriálneho krvného tlaku a ohrozeniu perfúzie mozgu. Organizmus preto aktivuje komplexnú regulačnú odpoveď sprostredkovanú autonómnym nervovým systémom, baroreceptorovými reflexmi a periférnou vaskulárnou reguláciou.

Head-Up Tilt (HUT) test je štandardizovaný experimentálny protokol, ktorý umožňuje kontrolovaným spôsobom vyvolať ortostatickú záťaž a sledovať dynamiku kardiovaskulárnej odpovede. Test pozostáva z fáz pokojovej polohy v ľahu, pasívneho naklonenia do vzpriamenej polohy a následnej fázy zotavenia. Vďaka presne definovanému priebehu poskytuje HUT test reprodukovateľné podmienky na štúdium autonómnej regulácie, baroreflexnej citlivosti a redistribúcie krvného objemu.

Tradičné hodnotenie HUT testu je založené predovšetkým na analýze globálnych hemodynamických parametrov, ako sú srdcová frekvencia, arteriálny krvný tlak, systolický objem alebo celkový periférny odpor. Tieto veličiny poskytujú dôležitý pohľad na systémovú odpoveď organizmu, avšak neposkytujú informáciu o regionálnych rozdieloch v perfúzii periférnych tkanív. Kožná mikrocirkulácia, ktorá predstavuje významný regulačný rezervoár, pritom zohráva kľúčovú úlohu pri redistribúcii krvného objemu počas ortostatickej záťaže.



Koža je bohato vaskularizovaný orgán, ktorého cievny systém je silne ovplyvňovaný autonómnou reguláciou. Počas ortostatického stresu dochádza k výraznej periférnej vazokonstrikcii, ktorá slúži na presmerovanie krvného prietoku smerom k centrálnym orgánom. Dynamika tejto vazokonstrikčnej odpovede, jej časový priebeh a priestorová organizácia však nie sú dostatočne zachytené pomocou klasických globálnych meraní. Práve tu sa otvára priestor pre doplňujúce metódy schopné sledovať periférnu mikrocirkulačnú odpoveď.

Fotopletyzmografia zobrazovaním (Photoplethysmography Imaging, PPGI) je bezkontaktná optická metóda umožňujúca snímanie dynamiky prekrvenia kože pomocou digitálnych kamier. Metóda je založená na detekcii zmien optických vlastností tkaniva súvisiacich so zmenami objemu krvi v mikrovaskulárnom riečiisku. Na rozdiel od kontaktnej fotopletyzmografie poskytuje PPGI priestorovo rozložené informácie o perfúzii, čím umožňuje sledovať heterogenitu mikrocirkulačnej odpovede naprieč snímanou oblasťou.

V kontexte HUT testu poskytuje PPGI jedinečný pohľad na periférnu odpoveď kardiovaskulárneho systému na ortostatickú záťaž. Zmeny polohy tela sa môžu prejaviť nielen globálnymi zmenami tlaku a srdcovej činnosti, ale aj výraznými regionálnymi zmenami perfúzie kože. Sledovanie týchto zmien v čase a priestore umožňuje lepšie pochopiť úlohu periférnej vaskulárnej regulácie pri udržiavaní hemodynamickej stability.

Dôležitým aspektom HUT experimentov je možnosť kombinovať PPGI s ďalšími neinvazívnymi meracími metódami. Súbežný záznam elektrokardiogramu, kontaktnej fotopletyzmografie, kontinuálneho arteriálneho krvného tlaku a impedančnej kardiografie poskytuje komplexný multimodálny pohľad na kardiovaskulárnu dynamiku. Takýto dátový súbor umožňuje skúmať vzťahy medzi globálnymi hemodynamickými parametrami a lokálnymi mikrocirkulačnými zmenami bez potreby invazívnych zásahov.

Projekt je koncipovaný ako výskumná stáž zameraná na experimentálnu prácu s reálnymi fyziologickými dátami a ich analytickú interpretáciu. Dôraz je kladený na pochopenie dynamických vzťahov medzi systémovou kardiovaskulárnou reguláciou a periférnou mikrocirkulačnou odpoveďou počas kontrolovanej ortostatickej záťaže. Takýto prístup poskytuje študentovi príležitosť pracovať s komplexným fyziologickým experimentom, osvojiť si princípy multimodálneho merania a získať hlbší vhľad do fungovania kardiovaskulárneho regulačného systému.

Rozšírený opis projektu vytvára konceptuálny rámec pre štúdium kardiovaskulárnej dynamiky počas HUT testu a zdôrazňuje potenciál fotopletyzmografie zobrazovaním ako doplnkového nástroja pri hodnotení periférnej odpovede organizmu na ortostatický stres. Projekt tak prepája fyziologické princípy autonómnej regulácie s modernými bezkontaktnými meracími technológiami a poskytuje priestor pre ďalší rozvoj experimentálnych a analytických prístupov v oblasti biomedicínskeho inžinierstva.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom projektu výskumnej stáže je zrealizovať multimodálne merania počas Head-Up Tilt (HUT) testu a následne analyzovať dynamiku kardiovaskulárneho systému snímanú fotopletyzmografiou zobrazovaním (PPGI) vo vzťahu k paralelne zaznamenávaným referenčným hemodynamickým signálom.

Čiastkové ciele projektu sú:

- pripraviť a uskutočniť experimentálne merania HUT testu na vzorke minimálne 10 subjektov vrátane synchronizovaného záznamu PPGI kamerových dát,
- paralelne zaznamenať referenčné fyziologické signály: EKG, kontaktnú PPG, kontinuálny neinvazívny arteriálny krvný tlak (Finapres ABP) a impedančnú kardiografiu (ICG) pre odhad parametrov ako systolický objem (SV) a súvisiace hemodynamické veličiny,
- zabezpečiť základnú kontrolu kvality dát (synchronizácia, artefakty, úplnosť záznamov) a pripraviť dataset pre analýzu,
- vykonať preliminárnu detailnú analýzu aspoň jedného reprezentatívneho subjektu, zameranú na časové a frekvenčné charakteristiky PPGI a ich súvis s ABP, EKG/HR a ICG-parametrami počas jednotlivých fáz HUT testu,
- formulovať prvotné pozorovania a odporúčania pre ďalšie rozšírenie protokolu a analytického postupu.

Projekt vytvorí experimentálny a analytický základ pre budúce systematickejšie štúdie autonómnej kardiovaskulárnej regulácie počas ortostatickej záťaže.

Metodológia projektu:

Metodológia projektu pozostáva z experimentálnej a analytickej časti. V úvodnej fáze stáže bude študent oboznámený s experimentálnym protokolom Head-Up Tilt testu, použitými meracími systémami a zásadami bezpečnosti a etiky meraní na ľudských subjektoch. Následne sa bude

podieľať na realizácii meraní u zdravých dobrovoľníkov podľa definovaného protokolu, pričom všetky signály budú zaznamenávané synchronizovane.

Počas meraní budú získavané PPGI kamerové dáta spolu s referenčnými fyziologickými signálmi – elektrokardiogram (EKG), kontaktná fotopletyzmografia (PPG), kontinuálny neinvazívny arteriálny krvný tlak (Finapres ABP) a impedančná kardiografia (ICG). Záznamy budú časovo zosúladené a uložené v jednotnej dátovej štruktúre.

Analytická časť bude zahŕňať predspracovanie signálov, vrátane kontroly kvality dát, detekcie artefaktov, filtrácie a výberu oblastí záujmu v PPGI dátach. Následne budú aplikované základné časové a frekvenčné analytické postupy na vyhodnotenie dynamiky signálov počas jednotlivých fáz HUT testu. Preliminárna analýza bude detailne realizovaná na dátach jedného reprezentatívneho subjektu, pričom získané výsledky budú interpretované v kontexte súbežne zaznamenaných hemodynamických parametrov.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- dobré znalosti biomedicínskeho signálového spracovania a fyziologických meraní
- schopnosť práce s MATLABom alebo Python prostredím
- záujem o experimentálnu prácu, spracovanie dát a fyziologickú interpretáciu výsledkov

Financovanie:

prostriedky fakulty / katedry

Referencie:

- [1] Borik, S., Lyra, S., Perlitz, V., Keller, M., Leonhardt, S., & Blazek, V. (2022). On the spatial phase distribution of cutaneous low-frequency perfusion oscillations. *Scientific Reports*, 12(1), 5997.
- [2] Borik, S., Keller, M., Perlitz, V., Lyra, S., Pelz, H., Müller, G., ... & Blazek, V. (2023). On the cardiorespiratory coordination assessed by the photoplethysmography imaging technique. *Scientific Reports*, 13(1), 14645.
- [3] Seleng, J., Celovska, D., Procka, P., Labuda, M., & Borik, S. (2025). Camera-based evaluation of deep breathing effects on plantar foot microcirculation—A pilot study on young healthy. *Computers in Biology and Medicine*, 189, 109996.
- [4] Aarotale, P. N., Blaber, A. P., & Tavakolian, K. (2020, July). Effect of Blood Volume Shift Simulated via Head-up Tilt on Photoplethysmography Morphology. In 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (pp. 2695-269). IEEE.
- [5] Aponte-Becerra, L., & Novak, P. (2021). Tilt test: a review. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 38(4), 279-286.
- [6] Borik, S., Gilmore, M. L., Gonzales-Fiol, A. J., Biondi, J. W., Wu, H. T., Shelley, K. H., & Alian, A. A. (2025). Photoplethysmography imaging to assess facial perfusion under simulated hypovolemia. *Physiological Measurement*, 46(7), 075008.

2 INFORMAČNÉ A KOMUNIKAČNÉ VEDY

2.1 Exploratívna analýza možností interpretovateľného spracovania bio-signalov

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy

Špecifická oblasť výskumu: Umelá inteligencia, spracovanie bio-signalov

Vedúci projektu: doc. Ing. Miroslav Benčo, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2262

E-mail

miroslav.benco@uniza.sk

Web-stránka

<https://orcid.org/0000-0003-4973-995X>

Exploratívna analýza možností interpretovateľného spracovania bio-signalov

Opis projektu:

Navrhovaná interná výskumná stáž je koncipovaná ako podporná aktivita pre úvodnú fázu projektu základného výskumu BrainWave – Interpretovateľnosť signálov ľudského mozgu pri sémantickom spracovaní vizuálnych podnetov (APVV - projekt bude podaný 02/2026). Cieľom stáže je príprava odborného a metodologického zázemia pre jeho realizáciu.

Stáž je zameraná na analýzu súčasného stavu poznania, identifikáciu relevantných výskumných smerov, dátových zdrojov a analytických prístupov v oblasti spracovania bio-signalov a interpretovateľnosti modelov umelej inteligencie. Stáž je zároveň koncipovaná ako prípravná fáza pre budúce doktorandské štúdium študenta v oblasti spracovania bio-signalov a interpretovateľných modelov umelej inteligencie.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom stáže je podporiť prípravnú fázu výskumného projektu prostredníctvom systematickej analýzy existujúcich prístupov, nástrojov a dátových zdrojov v oblasti spracovania bio-signalov.

Čiastkové ciele stáže zahŕňajú:

- analýzu aktuálneho stavu poznania v oblasti interpretovateľnosti modelov spracovania bio-signalov,
- identifikáciu relevantných verejne dostupných datasetov a ich charakteristík,
- prehľad metodologických prístupov používaných pri analýze a klasifikácii bio-signalov,
- podporu formulácie výskumných otázok a hypotéz pripravovaného projektu.

Metodológia projektu:

Stáž bude realizovaná formou postupných exploračných aktivít:

Fáza 1: Rešerš a analýza literatúry

Študent sa oboznámi s kľúčovými vedeckými publikáciami, prehľadovými štúdiami a aktuálnymi trendmi v oblasti spracovania bio-signalov a vysvetliteľnosti modelov.

Fáza 2: Analýza dátových zdrojov a nástrojov

Študent bude mapovať dostupné verejné datasety a softvérové nástroje relevantné pre budúci výskum.

Fáza 3: Syntéza poznatkov

Získané poznatky budú spracované do prehľadovej a analytickej dokumentácie, ktorá posluží ako vstup pre ďalšie fázy projektu.

Požadované kvality/znalosti študenta:

Študent, ktorý bude projekt riešiť, by mal disponovať viacerými odbornými i osobnostnými kvalitami ako sú:

- základné znalosti v oblasti dátovej analýzy alebo umelej inteligencie,
- schopnosť pracovať s odbornou literatúrou,
- analytické myslenie a záujem o výskumnú činnosť

Projekt je vhodný pre študenta so záujmom o spracovanie dát, strojové učenie a počítačové videnie.

Financovanie:

DIGITAL-2022-CLOUD-AI-02-TEF-HEALTH: TEF-Health (2023-2027)

Finančné prostriedky budú využité najmä na podporu výskumnej a publikačnej činnosti spojenej so stážou ako aj prezentáciu a publikovanie dosiahnutých výsledkov.

Referencie:

J. Guo, C. Yi, F. Li, P. Xu, and Y. Tian, "Mindldm: Reconstruct visual stimuli from fmri using latent diffusion model," in 2024 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA), 2024, pp. 1–6.

Y. Lu, C. Du, D. Wang, and H. He, "Minddiffuser: Controlled image reconstruction from human brain activity with semantic and structural diffusion," 2023. Available: <https://arxiv.org/abs/2303.14139>

P. S. Scotti, M. Tripathy, C. K. T. Villanueva, R. Kneeland, T. Chen, A. Narang, C. Santhirasegaran, J. Xu, T. Naselaris, K. A. Norman, and T. M. Abraham, "Mindeye2: Shared-subject models enable fmri-to-image with 1 hour of data," 2024. Available: <https://arxiv.org/abs/2403.11207>

Y. Ma, Y. Liu, L. Chen, G. Zhu, B. Chen, and N. Zheng, "Brainclip: Brain representation via clip for generic natural visual stimulus decoding," IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 44, no. 10, pp. 3962–3972, 2025.

W. Huang, K. Ma, T. Xie, and H. Wang, "Brainchat: Interactive semantic information decoding from fmri using large-scale vision-language pretrained models," in ICASSP 2025 - 2025 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2025, pp. 1–5.

H. Lu, Q. Zhou, N. Fei, Z. Lu, M. Ding, J. Wen, C. Du, X. Zhao, H. Sun, H. He, and J.-R. Wen, "Multimodal foundation models are better simulators of the human brain," 2022. Available: <https://arxiv.org/abs/2208.08263>

2.2 Fotonické integrované komponenty na platforme gálium oxidu pre ultra-krátke vlnové pásmo

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy, Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Integrovaná fotonika a optoelektronika

Vedúci projektu: Ing. Daniel Benedikovič, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

E-mail

Web-stránka

+421 41 513 2059

daniel.benedikovic@uniza.sk

<https://optolab.feit.uniza.sk/>

Fotonické integrované komponenty na platforme gálium oxidu pre ultra-krátke vlnové pásmo

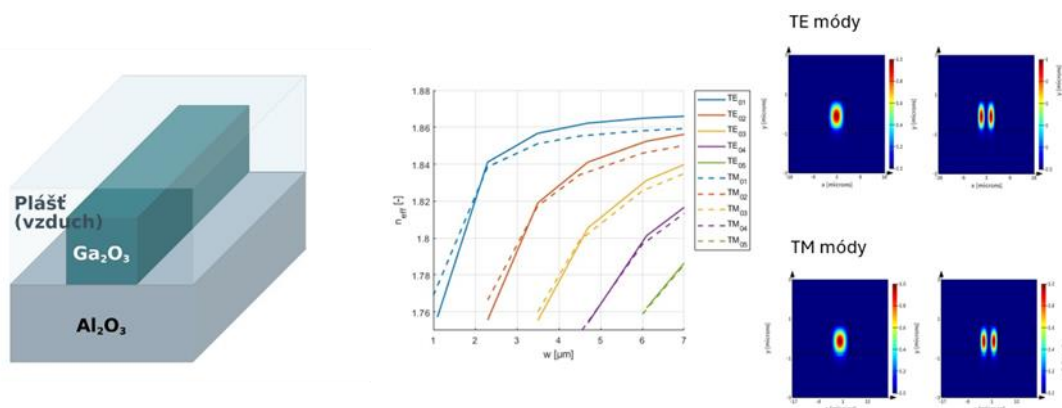
Opis projektu:

Integrovaná fotonika patrí medzi najprogressívnejšie technologické platformy súčasnosti a predstavuje kľúčový nástroj pre miniaturizáciu, vysokú mieru integrácie a ďalší technologický rozvoj v oblasti informačných a komunikačných technológií. Jej potenciál presahuje rámec klasickej optiky a optoelektroniky a otvára cestu k realizácii novej generácie polovodičových obvodov, ktoré nachádzajú uplatnenie v dátových centrách, vysokokapacitných telekomunikačných sieťach, výpočtových serveroch, senzorických platformách, ako aj v rýchlo sa rozvíjajúcich kvantových technológiách.

Na rozdiel od tradičných optických vlákien, ktoré dominujú najmä v chrbticových a prístupových sieťach, integrovaná fotonika využíva planárne vlnovody s vyšším indexom lomu, čo umožňuje realizáciu kompaktných, vysokovýkonných a presne definovaných fotonických zariadení. Významnou výhodou tejto technológie je aj jej kompatibilita so štandardnými procesmi mikro- a nanoelektronického priemyslu, ktorá umožňuje škálovateľnú a ekonomicky efektívnu výrobu fotonických čipov. Pre ďalší rozvoj integrovanej fotoniky je však nevyhnutné nielen zvyšovať mieru integrácie, ale aj cielene optimalizovať fundamentálne fotonické komponenty pre rôzne vlnové pásma, pričom moderné aplikácie kladú dôraz na multifunkčnosť, širokopásmovosť a flexibilitu zariadení.

Z pohľadu budúcich fotonických systémov sa ako kľúčový trend ukazuje vývoj multifunkčných fotonických zariadení novej generácie, ktoré kombinujú nízku spotrebu energie, vysokú prenosovú kapacitu a univerzálnosť prevádzky. Tieto riešenia vytvárajú základ pre nové architektúry energeticky efektívnych komunikačných platforiem, výpočtových a senzorických sietí či kvantových systémov, čím sa integrovaná fotonika stáva jedným zo základných pilierov technologickej transformácie.

Významnú úlohu v ďalšom rozvoji integrovanej fotoniky zohrávajú nové materiálové platformy, ktoré rozširujú jej použiteľnosť aj mimo tradičné infračervené a viditeľné spektrálne oblasti. Väčšina etablovaných fotonických platforiem, ako sú kremík (Si) a nitrid kremíka (Si_3N_4), je optimalizovaná najmä pre infračervené pásmo a vykazuje obmedzenia pri prevádzke vo vysokých intenzitách žiarenia alebo v ultrafialovej oblasti.



Obrázok 1. Analýza módov Ga_2O_3 vlnovodu na safírovom substráte

β -Ga₂O₃ je mimoriadne perspektívny materiál pre UV fotoniku vďaka svojmu extrémne širokému zakázanému pásmu (~4,8 eV), čo zodpovedá absorpčnej hrane približne 250–260 nm. To umožňuje transparentnú prevádzku nielen vo viditeľnom a infračervenom pásme, ale aj v hlbokoj UV oblasti. Materiál sa zároveň vyznačuje relatívne vysokým indexom lomu ($n \approx 1,8$ –2,0), ktorý umožňuje silnú lokalizáciu optického poľa v submikrónoch vlnovodných štruktúrach a podporuje miniaturizáciu fotonických integrovaných komponentov. Dôležitou vlastnosťou β -Ga₂O₃ je aj jeho optická anizotropia, vyplývajúca z monoklinickej kryštálovej štruktúry, ktorá poskytuje dodatočný stupeň voľnosti pri návrhu polarizačne selektívnych a dvojlomných fotonických zariadení. V neposlednom rade materiál vykazuje vysokú výkonovú a radiačnú odolnosť, čo je kľúčové pre UV aplikácie s vyššími optickými výkonmi.

Projekt internej výskumnej stáže sa zameriava na prechod k integrovanej fotonike v ultra-krátkom vlnovom pásme prostredníctvom využitia ultra-širokopásmových polovodičov (Ultra-Wide Bandgap, UWBG). Hlavným cieľom projektu je preskúmať potenciál β -fázy oxidu gália (β -Ga₂O₃) ako novej materiálovej platformy pre fotonické integrované komponenty pracujúce v hlbokoj ultrafialovej oblasti spektra, typicky v rozsahu 200–280 nm (UV-C), ktorý je pre väčšinu konvenčných fotonických materiálov technologicky neprístupný. Tento projekt je smerovaný na návrh a numerickú analýzu základných pasívnych fotonických komponentov na platforme β -Ga₂O₃, ako sú vlnovody, rezonátory, mriežkové väzobné členy a fotonické kryštály, s dôrazom na pochopenie fyzikálnych princípov šírenia svetla v hlbokoj ultrafialovej oblasti. Výsledky projektu prispievajú k rozšíreniu poznatkov v oblasti UV integrovanej fotoniky a môžu slúžiť ako základ pre ďalší výskum, diplomové práce, ako aj pre budúce vedecko-výskumné publikácie a aplikačný vývoj v oblasti senzoriky, optoelektroniky a kvantových technológií.

Ciele projektu:

- Získať teoretické a praktické znalosti o UV fotonike a platforme Ga₂O₃
- Navrhnuť a numericky analyzovať základné pasívne fotonické komponenty pre DUV oblasť
- Ovládnuť profesionálne simulačné nástroje pre elektromagnetické modelovanie
- Identifikovať návrhové limity, kompromisy a perspektívy UV fotonických zariadení

Metodológia projektu:

Realizácia projektu bude prebiehať v niekoľkých na seba nadväzujúcich etapách, ktoré študentovi umožnia postupne nadobudnúť teoretické znalosti, praktické návrhové zručnosti a skúsenosti s profesionálnymi simulačnými nástrojmi používanými v oblasti integrovanej fotoniky.

1. Štúdium odbornej literatúry a oboznámenie sa so simulačnými nástrojmi

V úvodnej fáze sa študent zameria na systematické štúdium odbornej literatúry z oblasti optických vlnovodov a integrovanej fotoniky, so zameraním na:

- fyzikálne princípy šírenia svetla vo vlnovodných štruktúrach,
- základné typy optických vlnovodov (planárne, rebrové, pásikové),
- špecifiká návrhu vlnovodov pre rôzne materiálové platformy a spektrálne oblasti.

Súčasťou tejto fázy bude aj oboznámenie sa so simulačnými nástrojmi, predovšetkým s prostredím Ansys Lumerical, vrátane jeho modulov pre modovú analýzu a simuláciu šírenia elektromagnetického poľa. Cieľom je porozumieť základným pracovným postupom, definícii geometrie, materiálových parametrov a nastaveniu okrajových podmienok.

2. Návrh optických vlnovodov pomocou analytických a numerických metód

V ďalšej etape bude študent realizovať predbežný návrh optických vlnovodov využitím analytických a zjednodušených numerických metód. Táto fáza zahŕňa:

- výpočet podmienok vedenia a jednovidovosti vlnovodov,
- analýzu vplyvu geometrických parametrov (šírka, výška, hĺbka leptania) na modové vlastnosti,
- odhad efektívnych indexov lomu a rozloženia elektromagnetického poľa.

Cieľom tejto fázy je vytvoriť fyzikálne podložený počiatočný návrh, ktorý minimalizuje potrebu rozsiahlej optimalizácie v neskorších fázach.

3. Implementácia metódy efektívneho indexu lomu (EIM)

Na prepojenie analytických výpočtov a plne numerických simulácií bude použitá metóda efektívneho indexu lomu (Effective Index Method, EIM). Študent sa zameria na:

- aplikáciu EIM pri redukcii dvojrozmerných a trojrozmerných problémov na sekvenčné jednorozmerné úlohy,
- odhad efektívnych indexov pre jednotlivé smery šírenia,
- porovnanie výsledkov EIM s presnejšími numerickými metódami.

Táto fáza umožní lepšie pochopenie vzťahov medzi geometriou vlnovodu a jeho modovými vlastnosťami a zároveň výrazne zrýchli iteratívny návrhový proces.

4. Rigorózný návrh optických vlnovodov pomocou Ansys Lumerical

V záverečnej fáze projektu bude realizovaný rigorózný numerický návrh a analýza optických vlnovodov s využitím profesionálneho simulačného prostredia Ansys Lumerical. Táto etapa zahŕňa:

- plnú modovú analýzu vlnovodných štruktúr (TE/TM módy, polarizačné vlastnosti),
- simulácie šírenia elektromagnetického poľa pomocou metód FDTD alebo EME,
- analýzu strát, citlivosti na geometrické a materiálové parametre,
- overenie platnosti analytických a EIM modelov.

Výsledkom tejto fázy budú optimalizované návrhy optických vlnovodov s jasne definovanými vlastnosťami, ktoré môžu slúžiť ako základ pre návrh komplexnejších fotonických integrovaných komponentov.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Zvedavosť pre nové výskumné skúsenosti a úlohy
- Kreativita a proaktivita pri hľadaní inovatívnych riešení
- Schopnosť komunikovať a zdieľať dosiahnuté výsledky v ústnej a písomnej forme
- Skúsenosti s programom Ansys Lumerical je výhodou

Financovanie:

Projekt internej stáže sa realizuje v rámci projektu: Laboratórium vláknovej a integrovanej optiky pre informačné a komunikačné digitálne technológie, KEGA 008ŽU-4/2025, KEGA – Kultúrna a edukačná grantová agentúra Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky, 2025 – 2027.

Referencie:

- [1] Li, Y.; Zhang, Y.; Zhang, L.; Poon, A.W. Silicon and Hybrid Silicon Photonic Devices for Intra-Datacenter Applications: State of the Art and Perspectives. *Photonics Res.* 2015, 3, B10–B27.
- [2] Y. Han, W. Chen, T. Jiao, H. Yu, Z. Zhang, X. Dong, Y. Zhang, a B. Zhang, Silicon-Based Gallium Oxide Optical Waveguide Fabricated by MOCVD, *Vacuum*, vol 238, 2025.
- [3] J. Zhou et al., Demonstration of β -Ga₂O₃ Optical Waveguides and the Analysis of Their Propagation Losses in the UV-Visible Spectra, *Applied Physics Letters*, vol. 115, p. 251108, 2019.
- [4] N. Nepal et al., Heteroepitaxial growth of β -Ga₂O₃ films on SiC via molecular beam epitaxy, *Journal of Vacuum Science & Technology A*, vol. 38, 2020.
- [5] I. Bhaumik et al., Temperature-dependent index of refraction of monoclinic Ga₂O₃ single crystal, *Applied Optics*, vol.50, 2011.

2.3 Výskum odolnosti systémov GNSS voči rušeniu

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy

Špecifická oblasť výskumu: Informačno-komunikačné technológie

Vedúci projektu: prof. Ing. Peter Brída, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2066

E-mail

peter.brida@uniza.sk

Web-stránka

-

Výskum odolnosti systémov GNSS voči rušeniu

Opis projektu:

Projekt nadväzuje stáž z predchádzajúceho semestra. Ide o výskum odolnosti systémov GNSS voči rušeniu. Globálne navigačné satelitné systémy GNSS (Global Navigation Satellite System) sú súčasťou mnohých aplikácií zasahujúcich do každodenných aktivít. Okrem navigácie sa GNSS signály využívajú aj na časovú synchronizáciu v rôznych aplikáciách, ako sú bezdrôtové siete, pevné telekomunikačné siete, dopravné systémy a finančné transakcie. Najrozšírenejším systémom je GPS (Global Positioning System).

Cieľom tejto výskumnej stáže je analyzovať vplyv rušenia a spoofingu GPS signálov na časovú synchronizáciu vysielačov v DVB-T SFN sieťach a navrhnúť možné riešenia na zmiernenie týchto vplyvov. Myšlienkou je využiť SDR (Software Defined Radio) prijímač na detekciu interferenčných signálov [1]. Stáž poskytne študentovi možnosť zapojiť sa do aktuálneho výskumu v oblasti rádiových komunikačných systémov, softvérovo definovaných rádiových prijímačov, spracovania signálov a kybernetickej bezpečnosti. Študent získa praktické skúsenosti s SDR prijímačmi a spracovaním signálov.

Konkrétne úlohy, ktoré študent v rámci stáže bude riešiť:

- Prvou úlohou je rozšíriť a optimalizovať navrhnutý detekčný prístup (predchádzajúci semester) s dôrazom na zvýšenie jeho presnosti, robustnosti a praktickej využiteľnosti. Zameriame sa na testovanie detekčného modelu na ďalších dátových scenároch a typoch rušenia, analýzu vplyvu rozhodovacieho prahu na presnosť detekcie a návrh adaptívnej voľby tohto prahu v závislosti od aktuálnych parametrov signálu. Súčasťou projektu bude aj optimalizácia počtu použitých príznakov GNSS signálu s cieľom zníženia výpočtovej náročnosti algoritmu pri zachovaní alebo zlepšení detekčných vlastností.
- Prechod od virtuálneho prijímača využívaného v predchádzajúcom semestri k SDR prijímaču.
- Zoznámenie sa s príslušným SDR prijímačom.
- Vytvorenie experimentálneho pracoviska v synergii s projektami riešenými na KMIKT.
- Experimentálne testovanie vplyvu rušenia a spoofingu na systémy založené na GPS s využitím SDR.
- Príprava vedeckej publikácie z dosiahnutých výsledkov v predchádzajúcom semestri. Predpokladané zaslanie na konferenciu Elektro 2026.

Bezpečnosť a spoľahlivosť GPS signálov je kľúčová pre mnohé kritické infraštruktúry, vrátane telekomunikačných sietí. Tento projekt prispeje k lepšiemu pochopeniu vplyvu rušenia na systémy časovej synchronizácie a pomôže navrhnúť riešenia na minimalizáciu týchto hrozieb. Výsledky tejto stáže môžu byť užitočné nielen pre akademickú sféru, ale aj pre prax, kde je spoľahlivá synchronizácia kľúčovou požiadavkou pre prevádzku informačných systémov. Táto stáž poskytne študentovi jedinečnú príležitosť rozvíjať svoje odborné znalosti a praktické schopnosti v oblasti GNSS a telekomunikácií.

Ciele projektu:

Cieľom tejto výskumnej stáže je podrobne analyzovať vplyv rušenia a spoofingu GPS signálov na presnosť časovej synchronizácie vysielačov. Študent sa zameria na identifikáciu rôznych foriem rušenia a ich dopad na synchronizačné mechanizmy. Na základe vykonaných simulácií a experimentov bude možné navrhnúť metódy na detekciu týchto interferencií. Výsledky výskumu môžu pomôcť zlepšiť spoľahlivosť časovej synchronizácie v kritických infraštruktúrach využívajúcich GPS signál na synchronizáciu zariadení. Parciálne ciele projektu je možné definovať nasledovne:

- Prvým cieľom je rozšíriť a optimalizovať navrhnutý detekčný prístup (predchádzajúci semester) s dôrazom na zvýšenie jeho presnosti, robustnosti a praktickej využiteľnosti.
- Testovanie detekčného modelu na ďalších dátových scenároch a typoch rušenia, analýzu vplyvu rozhodovacieho prahu na presnosť detekcie a návrh adaptívnej voľby tohto prahu v závislosti od aktuálnych parametrov signálu.
- Optimalizácia počtu použitých príznakov GNSS signálu s cieľom zníženia výpočtovej náročnosti algoritmu pri zachovaní alebo zlepšení detekčných vlastností.
- Vytvorenie experimentálneho pracoviska v synergii s projektami riešenými na KMIKT.
- Experimentálne testovanie vplyvu rušenia a spoofingu na systémy založené na GPS s využitím SDR.
- Príprava vedeckej publikácie z dosiahnutých výsledkov v predchádzajúcom semestri. Predpokladané zaslanie na konferenciu Elektro 2026..

Dosiahnuté výsledky bude možné využiť v rámci riešenia projektu NATO SPS G6140, čím dôjde k synergii.

Metodológia projektu:

Výskumná stáž bude pozostávať z viacerých fáz, ktoré zahŕňajú teoretickú analýzu, experimentálne merania a návrh možných riešení na detekciu interferencie GPS signálov.

- Zdokonalenie sa v oblasti prijímačov SDR.
- Optimalizácia navrhnutého detekčného modelu z predchádzajúceho semestra.
- Vytvorenie experimentálneho pracoviska v synergii s projektami riešenými na KMIKT.
- Experimentálne merania a testovanie s využitím unikátnej technológie Spirent GSS7000
- Zber a spracovanie dát na identifikáciu interferencií.
- Testovanie detekčných algoritmov na reálnych dátach.

Vyhodnotenie efektivity metód detekcie interferencie.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Záujem o oblasť rádiovkej komunikácie.
- Základné znalosti v oblasti spracovania signálov a programovania (napr. MATLAB, Python).
- Základné znalosti práce so softvérovo definovanými rádiovými prijímačmi.
- Analytické myslenie a schopnosť pracovať s vedeckou literatúrou.
- Samostatnosť a schopnosť riešiť problémy.

Financovanie:

NATO SPS G6140: Advanced Technologies for Physical Resilience Of cRitical Infrastructures (APRIORI), 01/11/2023 - 31/10/2026

Referencie:

[1] van der Merwe, J. R., Franco, D. C., Jdidi, D., Feigl, T., Rügamer, A., & Felber, W. (2022, June). Low-cost COTS GNSS interference detection and classification platform: Initial results. In 2022 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS) (pp. 1-8). IEEE.

2.4 Orchestrácia dát a komunikácia pre podporu autonómnej mobility

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy

Špecifická oblasť výskumu: podpora autonómnej mobility systémami IKT

Vedúci projektu: prof. Ing. Milan Dado, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2212

E-mail

milan.dado@uniza.sk

Web-stránka

-

Orchestrácia dát a komunikácia pre podporu autonómnej mobility

Opis projektu:

Autonómna mobilita predstavuje jeden z najprogresívnejších smerov v oblasti vývoja dopravných technológií. Systémy pre podporu autonómneho riadenia vozidiel integrujú pokročilé senzorické systémy, komunikačné technológie a umelú inteligenciu za účelom autonómneho vnímania, interpretácie a reakcie na komplexné a dynamické dopravné prostredie.

Kľúčovým pre podporu autonómnych vozidiel autonómnej mobility je sofistikovaná a efektívna práca s dátami, čo zahŕňa zber, spracovanie, analýzu a interpretáciu dát prakticky v reálnom čase. So zvyšujúcimi sa požiadavkami na bezpečnosť, spoľahlivosť a efektivitu týchto systémov je čoraz dôležitejšie nielen lokálne spracovanie dát, ale aj ich zdieľanie prostredníctvom komunikačných technológií typu V2X, pričom technológia V2X umožňuje výmenu informácií medzi vozidlami navzájom (V2V), medzi vozidlami a infraštruktúrou (V2I), ako aj so sieťovými prvkami (V2N) a inými účastníkmi cestnej premávky, napr. chodcami (V2P). Integrácia týchto dátových tokov do riadiaceho procesu vozidla prispieva k zvýšeniu informovanosti o situácii v okolí pohybujúceho sa vozidla a aj predikciu potenciálne rizikových situácií a optimalizácii jazdných rozhodnutí.

Rozvoj autonómnych systémov si vyžaduje ich systematickú klasifikáciu podľa úrovne automatizácie, ako aj dôsledné riešenie dátovej infraštruktúry. Medzinárodným štandardom pre klasifikáciu automatizovaných funkcií je norma SAE J3016, ktorú publikovala organizácia SAE International (Society of Automotive Engineers). Táto norma definuje šesť úrovní automatizácie (SAE Level 0–5), pričom každá úroveň predstavuje konkrétny stupeň zapojenia vodiča a komplexnosti riadiaceho systému. Vyššia úroveň automatizácie priamo koreluje s vyššou potrebou na dátové vstupy, senzorickú fúziu, výpočtový výkon a spoľahlivosť komunikácie. Každá vyššia úroveň autonómie si vyžaduje komplexnejší prístup k spracovaniu dát, zvýšenú senzorickú kapacitu a vyššiu mieru spoľahlivosti rozhodovacích algoritmov [1].

V súvislosti s tým je nevyhnutné zabezpečiť dátovú komunikačnú infraštruktúru v celom rozsahu komunikácie V2X, ktorá pokrýva zber, prenos, spracovanie, ukladanie a ochranu dát – od palubných systémov cez „edge computing“ až po cloudové platformy. Táto infraštruktúra je kľúčovým predpokladom na splnenie nárokov systémov funkčnej bezpečnosti podľa ISO 26262 a kybernetickej bezpečnosti podľa ISO/SAE 21434.

Dátové vstupy a ich úloha v autonómii

Dáta zohrávajú v autonómnych systémoch kľúčovú úlohu – slúžia ako vstup pre všetky základné funkcie vrátane percepcie prostredia, lokalizácie, plánovania trajektórie, rozhodovania v dynamických dopravných situáciách a vykonávania pohybových príkazov. Architektúra spracovania dát v autonómii je spravidla vrstvená:

Percepčná vrstva: zber, filtrovanie a spracovanie senzorických vstupov.

Kognitívna vrstva: interpretácia situácií, plánovanie správania a výber optimálnej trajektórie.

Akčná vrstva: vykonávanie riadiacich rozhodnutí cez mechanické a elektrické systémy vozidla.

Dátové vstupy možno rozdeliť do dvoch hlavných kategórií: interné (palubné senzory) a externé (komunikačné rozhrania a cloudové zdroje). Ich synergia vytvára informáciu o situácii, teda digitálny model aktuálneho dopravného kontextu [2].

Ciele projektu:

Cieľom tejto výskumnej stáže je podrobne rozobrať možnosti spracovania dát v oblasti autonómnej mobility a navrhnuť hierarchický model ich využívania v kontexte V2X komunikácie v súlade s odporúčaniami relevantných medzinárodných šandardizačných orgánov ako ETSI, 3GPP a konzorcia 5GAA. Súčasťou analýzy bude aj aplikácia hlbokých neurónových sietí napr. sietí YOLO na detekciu dopravných objektov ako praktický príklad spracovania vizuálnych dát v reálnom čase v rámci perцепčnej vrstvy autonómnych systémov.

Predpokladá sa:

- 1) Oboznámenie sa s výsledkami doterajšieho výskumu v meraní kvality vybraných úsekov 5G NSA, prípadne 5G SA siete a štatistickým zhodnotením nameraných výsledkov z hľadiska požiadaviek 3GPP ETSI a 5GAA
- 2) Preštudovanie a experimentálne overenie možností nasadenia vhodných neurónových sietí pre analýzu kamerových dát pre analýzu a podporu pohybu vozidiel na reálnej cestnej dopravnej infraštruktúre.
- 3) Orchestrácia spracovania kamerových dát pre podporu autonómnej mobility s využitím neurónových sietí s dátami s iných senzorických systémov.
- 4) Návrh hierarchických postupov využitia získaných obrazových dát pre podporu autonómnej mobility s podporou sietí V2X a odhad požiadaviek na ich prenos v komunikačnej infraštruktúre.

Metodológia projektu:

Po oboznámení sa s doterajšími výsledkami výskumu v tejto oblasti riešiteľ spracuje mapu existujúcich znalostí a výsledkov diplomových a dizertačných prác na KMIKT, ale aj všeobecne so „the state of arts“ vo svete, ako v téme komunikácie, tak aj v téme využitia NN, najmä sietí YOLO pre podporu autonómnej mobility.

Na základe týchto poznatkov a experimentov s NN sieťami a hodnotením kvality komunikačnej infraštruktúry riešiteľ stanoví možnú architektúru info-komunikačnej siete na báze hierarchickej rádiovkej siete, „edge computing“ až po cloudové platformy pre podporu autonómnej mobility a načrtne metodiku jej dimenzovania.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosti z oblasti 5G sietí a sietí „beyond 5G“.
- Základné znalosti z problematiky neurónových sietí pre podporu hlbokého učenia.
- Schopnosť návrhu info-komunikačnej infraštruktúry s podporou zvolenej „open source“ programovej podpory.

Financovanie:

- Brída, P.: Výskum efektívnych lokalizačných a komunikačných riešení v prostredí heterogénnych rádiových sietí, projekt VEGA 1/0580/25, riešenie 25-28; člen riešiteľského kolektívu môj doktorand Ing. Marcel Simeonov
- Prostriedky, ktoré má vedúci projektu z riešenia projektov podnikateľskej činnosti z minulých období na KMIKT

Referencie:

PRACTICE [online]. [cit. 2025-03-01]. Dostupné na internete: <https://wiki.unece.org/download/attachments/128418539/SAE%20J3016_202104.pdf?api=v2>.

[2] BARLA, N. Self-driving cars with Convolutional Neural Networks (CNN). In neptune.ai [online]. 2024. [cit. 2025-03-01]. Dostupné na internete: <<https://neptune.ai/blog/self-driving-cars-with-convolutional-neural-networks-cnn>>.

[3] ETSI. In Service requirements for V2X services [online]. [cit. 2025-03-01]. Dostupné na internete: <https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/122100_122199/122185/14.04.00_60/ts_122185v140400p.pdf>

[4] SABELLA, D. - MOUSTAFA, H. 5GAA. In Toward fully connected vehicles: Edge computing for advanced automotive communications [online]. [cit. 2025-03-02]. Dostupné na internete: <https://5gaa.org/content/uploads/2017/12/5GAA_T-170219-whitepaper-EdgeComputing_5GAA.pdf>.

- [5] AREFE, C.A. Sensor fusion techniques in Autonomous Vehicle Navigation: Delving into various methodologies and... In Medium [online]. 2024. [cit. 2025-03-11]. Dostupné na internete: <<https://chaklader.medium.com/sensor-fusion-techniques-in-autonomous-vehicle-navigation-delving-into-various-methodologies-and-c95acc67e3af>>.
- [6] WELCH, G. In An introduction to the Kalman filter [online]. [cit. 2025-03-11]. Dostupné na internete: <https://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf>.
- [7] Výboštek, R.: Dáta a komunikácia pre podporu autonómnej mobility, projekt zo špecializácie 2, KMIKT 2025
- [8] M. Simeonov, P. Kamencay and M. Dado, "Evaluating YOLOv11's Role in Robust Real-Time Object Detection for Autonomous Driving," 2025 35th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), Czech Republic, 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/RADIOELEKTRONIKA65656.2025.11008422.]
- [9] : M. Simeonov, A. Kurdiumov and M.Dado: Real-Time 3D Scene Understanding for Road Safety: Depth Estimation and Object Detection for Autonomous Vehicle Awareness, in Emerging Solutions and Technologies for Smart Mobility and Vehicle Safety in Transportation, MDPI – vehicles, 2026

2.5 SENT prevodník

Pracovisko: Katedra mechatr. a elektroniky

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy

Špecifická oblasť výskumu: Automotive komunikačné zbernice

Vedúci projektu: Ing. Matúš Danko, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 1610

E-mail

matus.danko@uniza.sk

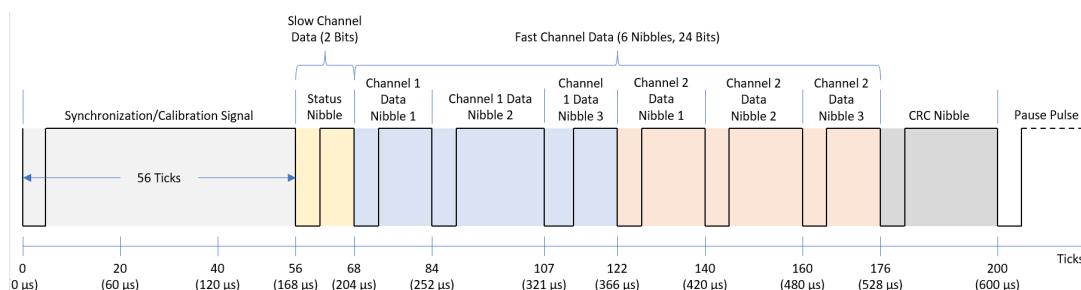
Web-stránka

-

SENT prevodník

Opis projektu:

Pre EMC signálov a zjednodušenie kabeláže automobilov je používaných stále menej a menej snímačov s analógovým výstupom. Moderné snímače využívajúce komunikačné zbernice majú ďalšie výhody okrem EMC. Výhodou je možnosť spojenia viacerých snímačov do jedného výstupu napr. teplota a tlak. Zbernica SENT bola práve navrhnutá na takúto komunikáciu medzi snímačmi a riadiacou jednotkou. Protokol SENT je jednosmerné, asynchrónne napäťové rozhranie, ktoré vyžaduje tri vodiče: signálny vodič (nízky stav < 0,5 V, vysoký stav > 4,1 V), napájací vodič (5 V) a uzemňovací vodič. SENT používa pulzne šírkovú moduláciu na kódovanie štyroch bitov (jeden nibble) na symbol. Základná jednotka času v SENT sa nazýva tik, pričom tik môže mať dĺžku od 3 do 90 μ s, podľa voľby odosielateľa. Každý správe predchádza kalibračný impulz s periódou 56 tikov pre zarámovanie a kalibráciu dĺžky tiku. Po kalibračnom impulze sa každý nibble vysielá s nízkou frekvenciou s pevnou šírkou, po ktorej nasleduje perióda vysokej frekvencie s premenlivou dĺžkou. Nízka frekvencia má dĺžku 5 (alebo viac) tikov, zatiaľ čo vysoká frekvencia sa môže meniť, pričom celková perióda medzi zostupnými hranami je 12 až 27 tikov (čo predstavuje nibble v rozsahu od 0 do 15). [1-3]



Obr.1 Rámec správy SENT protokolu

Ako bolo spomenuté vyššie, SENT protokol využíva pulzne šírkovú moduláciu, teda pre komunikáciu je zásadná dĺžka trvania impulzov. To znamená že je možné tento komunikačný protokol relatívne jednoducho implementovať do mikropočítača aj bez špeciálnych periférií. Cieľom projektu je teda vytvorenie knižnice a programu pre vybraný mikropočítač respektíve rodinu mikropočítačov c2000. Mikropočítač s vytvorenými knižnicami a programami bude teda slúžiť ako prevodník analógového signálu snímača na SENT a naopak. Takýto prevodník bude využívaný pri výučbe komunikačných zberníc a pri výučbe diagnostiky elektronických systémov automobilov pre overenie funkčnosti snímača komunikujúceho cez zbernicu SENT zbernicu. Ďalej bude prevodník využívaný na meracom stanovišti hybridného pohonu, ktorý bol realizovaný v rámci projektu Grantového systému UNIZA. Na tomto meracom stanovišti teda bude možné meranie analógových veličín všetkých snímačov.

Ciele projektu:

- vytvorenie knižníc pre fyzickú vrstvu SENT protokolu pre rodinu mikropočítačov c2000
- vytvorenie knižníc pre simuláciu jednotlivých typov snímačov a dekodovanie dát zo snímačov
- vytvorenie prevodníku analógového signálu snímača na SENT
- vytvorenie prevodníku SENT komunikácie na analógový signál

Metodológia projektu:

Projekt bude rozdelený do niekoľkých fáz.

V prvej fáze prebehne teoretická analýza SENT protokolu. Na základe teoretickej analýzy budú vytvorené knižnice pre fyzickú vrstvu SENT protokolu tzn. pulzne šírková modulácia na základe dát a naopak. Vytvorená knižnica sa overí pripojením riadiacej jednotke automobilu a pripojením snímaču so SENT výstupom.

V druhej fáze bude vytvorená knižnica pre simuláciu jednotlivých snímačov ako teplota, poloha, meranie hmotnosti vzduchu a pod. Táto knižnica bude opäť overená prostredníctvom riadiacej jednotky prípadne osciloskopom určeným pre automobilovú diagnostiku.

V poslednej fáze budú vytvorené prevodníky s využitím knižníc z predchádzajúcich fáz, ktoré budú pre výučbu a rozšírenie možností meracieho stanovišťa hybridného pohonu a pri ladení jeho riadiaceho algoritmu.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Základné znalosti programovanie embeded systémov v programovacom jazyku C
- Prehľad v oblasti automobilových zberníc
- Práca s logickým analyzárom, osciloskopom

Financovanie:

Táto téma nie je momentálne predmetom riešenia žiadneho výskumného projektu financovaného z rozpočtu Ministerstva školstva, alebo štrukturálnych fondov.

Referencie:

- [1] <https://www.evengineeringonline.com/what-is-the-automotive-sent-protocol/>
- [2] <https://www.picoauto.com/library/product-news/sent-protocol-decoding-and-diagnosis-guide>
- [3] <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/el126x/4228494859.html&id=>

2.6 Testovanie a metrológia prenosových parametrov optických komunikačných systémov

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy, Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Opto-vláknové komunikačné systémy

Vedúci projektu: Ing. Jozef Dubovan, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2227	jozef.dubovan@uniza.sk	https://optolab.feit.uniza.sk/

Testovanie a metrológia prenosových parametrov optických komunikačných systémov

Opis projektu:

Optické komunikácie tvoria základ modernej digitálnej spoločnosti, globálneho internetu a telekomunikačných sietí. Vďaka nízkym stratám optických vlákien, vyspelým optoelektronickým technológiám a obrovskej prenosovej kapacite predstavujú strategickú infraštruktúru pre hospodárstvo, vedu a priemysel. Ich význam rastie spolu s nástupom umelej inteligencie, internetu vecí či dátovo náročných aplikácií, ktoré generujú prudko rastúce požiadavky na prenos informácií. Dnes optické siete prechádzajú generačnou zmenou – od systémov na úrovni 40/100 Gb/s k platformám s kapacitou 200, 400 či 800 Gb/s, pričom pripravované technológie už dosahujú 1,6 Tb/s. Tento posun nie je len kvantitatívnym zvýšením kapacity, ale prináša aj potrebu kvalitatívne nových prístupov v návrhu, implementácii a testovaní optických systémov. Rozvoj je umožnený pokročilými modulačnými formátmi, koherentnými prijímačmi novej generácie, viacvláknovými a viacjadrovými vláknami, ako aj rastúcou integráciou fotonických integrovaných obvodov.

S rastúcimi rýchlosťami narastajú aj výzvy v oblasti metrológie a štandardizácie. Moderné systémy musia umožniť presné meranie optických strát, disperzie, nelineárnych efektov či chybovosti signálu, ale aj charakterizáciu komplexných zariadení a celých sietí. Kľúčovým aspektom je meranie v širších spektrálnych pásmach, kalibrácia prístrojov pre extrémne rýchlosti a overovanie interoperability komponentov od rôznych výrobcov. Bez pokročilých metrologických rámcov nie je možné zabezpečiť konzistentnú kvalitu prenosu, stabilitu služieb ani efektívnosť prevádzky. Význam týchto postupov presahuje klasické telekomunikácie – zohrávajú úlohu aj pri digitalizácii priemyslu, automatizovaných podnikových riešeniach a nasadzovaní AI aplikácií. Rozvoj optických sietí tak už nezávisí len od rastu prenosovej kapacity, ale aj od schopnosti presne merať, kalibrovať a validovať každý prvok komunikačného reťazca.

Predložený projekt internej výskumnej stáže reaguje na potrebu vytvorenia jednotnej otvorenej testovacej a metrologickej infraštruktúry pre optické systémy novej generácie. Táto infraštruktúra umožní validáciu technológií, podporí štandardizáciu a vytvorí základ pre bezpečný a efektívny transfer výsledkov do praxe.



Obr. 1. Experimentálna meracia platforma pre optické komunikačné systémy

Ciele projektu:

Hlavným cieľom projektu je definovať, implementovať a experimentálne overiť meracie metodiky pre hodnotenie výkonu vysokorýchlostných optických komunikačných spojení. Dôraz bude kladený najmä na charakterizáciu kľúčových prenosových parametrov, akými sú:

- vložné straty,
- chromatická disperzia,
- polarizačná módová disperzia,
- polarizačne závislé straty.

Stáž umožní študentom detailne sa oboznámiť s princípmi moderných optických sietí a prakticky si vyskúšať prácu s profesionálnou meracou technikou. Experimenty budú realizované v *Laboratóriu integrovanej fotoniky a optických komunikácií* (<https://optolab.feit.uniza.sk/>) na špeciálne pripravenej meracej platforme, ktorá umožňuje testovanie prevádzkových podmienok vysokorýchlostných prenosových systémov.

Projekt je koncipovaný tak, aby vytvoril priestor pre postupný rast študenta – od zvládnutia základných meracích techník až po samostatné návrhy a interpretáciu experimentov. Nadobudnuté skúsenosti môžu priamo prispieť k vypracovaniu záverečnej (diplomovej) práce a poskytnúť základ pre dlhodobejšie zapojenie do výskumných aktivít.

V prípade dosiahnutia sľubných výsledkov môže stáž plynulo pokračovať aj vo forme projektovej spolupráce, a to nielen v rámci fakulty, ale aj v úzkej väzbe na priemyselných partnerov, napríklad *ProFiber Networking, s.r.o.* Takáto synergia akademického a aplikačného prostredia otvára študentom príležitosti pre nadviazanie kontaktov, získanie cenných skúseností z praxe a potenciálne uplatnenie v perspektívnom odvetví optických komunikačných technológií.

Metodológia projektu:

Realizácia projektu bude prebiehať v niekoľkých na seba nadväzujúcich krokoch, ktoré umožnia postupný rozvoj znalostí a praktických zručností študenta:

1. **Úvodné oboznámenie sa s experimentálnym prostredím** – podrobná práca so špeciálne pripraveným experimentálnym set-upom v laboratóriu integrovanej fotoniky a optických komunikácií. Študent sa zoznámi s princípmi činnosti jednotlivých zariadení (optické zdroje, výkonové analyzátory, polarizačné kontroléry, spektrometre, optické vlákna a pasívne komponenty) a naučí sa bezpečne obsluhovať meraciu techniku.
2. **Realizácia základných meraní** – vykonanie experimentov zameraných na meranie výkonu a vložných strát vybraných optických komponentov. Dôraz bude kladený na presnosť, reprodukovateľnosť a interpretáciu výsledkov.
3. **Charakterizácia pokročilých parametrov** – rozšírenie meraní o hodnotenie chromatickej disperzie, polarizačnej módovej disperzie a polarizačne závislých strát, ktoré sú kľúčové pre vysokorýchlostné komunikačné aplikácie.
4. **Vypracovanie metodických postupov** – systematické spracovanie získaných poznatkov do podoby metodických návodov a protokolov. Študent pripraví opis jednotlivých meracích krokov, ich logiku a požiadavky na správnu realizáciu, čo vytvorí základ pre opakovateľnosť a prenositeľnosť postupov.
5. **Návrh automatizácie meraní** – vypracovanie principiálneho návrhu, ktorý načrtne možnosti automatizácie meracích a testovacích procesov. Študent získa skúsenosť s využitím softvérových nástrojov pre riadenie meracej techniky a prípravu skriptov na efektívnejšie spracovanie dát.

Metodológia tak kombinuje praktickú prácu v laboratóriu, analytické vyhodnocovanie dát a návrh inovatívnych prístupov k meraniu, čím umožňuje študentovi komplexne pochopiť problematiku optických komunikačných systémov a zároveň rozvíjať vlastnú kreativitu a technické zručnosti.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Zvedavosť pre nové výskumné skúsenosti a úlohy
- Kreativita a proaktivita pri hľadaní inovatívnych riešení
- Schopnosť komunikovať a zdieľať dosiahnuté výsledky v ústnej a písomnej forme

Financovanie:

Projekt internej stáže sa realizuje v rámci projektu: *Laboratórium vláknovej a integrovanej optiky pre informačné a komunikačné digitálne technológie*, KEGA 008ŽU-4/2025, KEGA – Kultúrna a edukačná grantová agentúra Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky, 2025 – 2027.

Referencie:

[1] Filka, M.: Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku, 2009

- [2] G. P. Agrawal, Fiber-Optic Communications Systems, 2002
- [3] Antoniadou, N.N. (Ed.) WDM Systems and Networks: Modeling, Simulation, Design, and Engineering 2012.
- [4] Dado, M., Turek, I., Štetina, J., Bitterer, L., Turek, S., Grolmuis, E., Stibor, P.: Kapitoly z optiky pre technikov, Žilinská univerzita, 1998

2.7 Základy optických komunikácií: laboratórne merania, práca s optickými vláknami a tvorba manuálov

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy, Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Integrovaná fotonika a optoelektronika

Vedúci projektu: Mgr. Michaela Hola, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

E-mail

Web-stránka

+421 41 513 2227

michaela.hola@uniza.sk

<https://optolab.feit.uniza.sk/>

Základy optických komunikácií: laboratórne merania, práca s optickými vláknami a tvorba manuálov

Opis projektu:

Projekt internej výskumnej stáže je zameraný na praktickú laboratórnu činnosť v oblasti optiky a optických komunikácií, s dôrazom na prácu s optickými vláknami, základnými optickými komponentmi a meracími prístrojmi, ktoré sa bežne používajú v moderných optických prenosových systémoch. Hlavným cieľom projektu je príprava, experimentálne overenie a spracovanie laboratórných úloh a metodických postupov, ktoré budú slúžiť ako kvalitný podklad pre výučbu predmetov zameraných na optické komunikácie a prenosové systémy.

Integrované a vláknové optické technológie dnes tvoria základ telekomunikačných sietí, dátových centier, senzorických systémov a moderných informačných infraštruktúr. Kvalitná výučba v tejto oblasti si nevyžaduje len teoretické znalosti, ale predovšetkým praktické pochopenie fyzikálnych princípov, ako sú šírenie svetla v optickom vlákne, útlm, disperzia, výkonová bilancia prenosovej trasy či základné vlastnosti optických zdrojov a detektorov. Projekt reaguje na túto potrebu a prepája vzdelávací rozmer s praktickým technickým tréningom študenta v reálnom laboratórnom prostredí.

V rámci stáže sa študent bude systematicky venovať základom práce s optickými vláknami, vrátane identifikácie rôznych typov vlákien (jednovidové a mnohovidové), správnej prípravy a čistenia konektorov, realizácie spojov pomocou mechanických spojok alebo zvarovania a merania útlmu a kvality optických spojov. Súčasťou projektu bude aj práca so základnými optickými komponentmi, ako sú optické zdroje (LED a laserové diódy), pasívne prvky (rozbočovače, spojky, optické tlmiče) a detektory optického signálu.

Dôležitou časťou projektu sú základné merania v oblasti optických komunikácií, ktoré zahŕňajú meranie optického výkonu a útlmu, charakteristiku jednoduchej optickej prenosovej trasy, základné spektrálne merania optických zdrojov a úvodné zoznámenie sa s pokročilejšími diagnostickými metódami, ako je meranie pomocou OTDR (v prípade dostupnosti zariadenia). Cieľom týchto aktivít je nielen realizácia samotných meraní, ale aj pochopenie ich významu, správnej interpretácie výsledkov a identifikácie najčastejších chýb v praxi.

Významnou výstupnou časťou projektu je tvorba laboratórných manuálov a metodických postupov. Študent sa bude podieľať na návrhu štruktúry laboratórných úloh, spracovaní teoretického úvodu, návrhu zapojenia a meracích schém, definovaní krokov merania, bezpečnostných pokynov a odporúčaných pracovných postupov. Navrhnuté úlohy budú experimentálne overené v laboratóriu a následne upravené tak, aby boli zrozumiteľné, reprodukovateľné a vhodné pre výučbové využitie.

Očakávanými výstupmi projektu sú ucelený súbor laboratórných manuálov (v elektronickej a/alebo tlačenej forme), overené meracie postupy pre základné úlohy v optických komunikáciách a metodické podklady pre vyučujúcich, ktoré prispievajú k zvýšeniu kvality, jednotnosti a praktickej úrovne laboratórnej výučby na fakulte.

Z pohľadu študenta má projekt výrazný vzdelávací a profesijný prínos. Študent získa praktické technické zručnosti v oblasti optiky a optických komunikácií, ktoré sú vysoko cenené v priemyselnej aj akademickej praxi, najmä v oblasti telekomunikácií, dátových centier a sieťových technológií. Projekt rozvíja systematický a presný prístup k technickej práci, schopnosť dokumentovať merania a vytvárať zrozumiteľné technické návody. Zároveň vytvára pevný základ pre spracovanie bakalárskej alebo diplomovej práce a môže slúžiť ako vstupná brána k ďalším výskumným alebo aplikačným aktivitám fakulty.

Ciele projektu:

- Získať praktické skúsenosti s prácou v optickom laboratóriu a manipuláciou s optickými vláknami
- Oboznámiť sa so základnými meracími prístrojmi v optických komunikáciách
- Navrhnuť, realizovať a overiť jednoduché laboratórne merania v oblasti optických prenosov
- Vypracovať laboratórne manuály a metodické postupy pre experimentálnu výučbu študentov

Metodológia projektu:

Projekt bude realizovaný iteratívne, v úzkej spolupráci s odborným školiteľom:

1. Oboznámenie sa s laboratórnym vybavením a bezpečnostnými pravidlami
2. Realizácia a testovanie základných optických meraní
3. Vyhodnotenie nameraných dát a identifikácia častých chýb
4. Spracovanie jasných a zrozumiteľných laboratórných postupov
5. Finalizácia manuálov a ich príprava na výučbové použitie

Požadované kvality/znalosti študenta:

Odborné predpoklady (odporúčané)

- základné znalosti fyziky so zameraním na optiku alebo elektromagnetizmus (na úrovni Bc./Ing. štúdia),
- základná orientácia v oblasti optických komunikácií alebo prenosových systémov (výhodou, nie podmienkou),
- schopnosť porozumieť technickej dokumentácii a laboratórnym návodom.

Praktické zručnosti (výhodou)

- manuálna zručnosť a technická presnosť pri práci v laboratóriu,
- základné skúsenosti s meracími prístrojmi (napr. optický výkonomer, zdroj svetla, osciloskop – aj zo školských cvičení),
- ochota pracovať s optickými vláknami a konektormi (čistenie, manipulácia, zapájanie).

Osobnostné predpoklady

- zodpovedný a systematický prístup k práci,
- trpezlivosť a dôslednosť pri meraniach a dokumentovaní výsledkov,
- schopnosť pracovať samostatne aj podľa vopred definovaných postupov,
- ochota učiť sa nové praktické zručnosti a technológie.

Jazykové a formálne schopnosti

- schopnosť spracovať jednoduchý technický text (laboratórny manuál, postup, protokol),
- základná znalosť odborného anglického jazyka (čítanie manuálov a datasheetov),
- Efektívna a etická práca s jazykovými a grafickými nástrojmi AI

Technické predpoklady

- základná práca s PC (textový editor, jednoduché tabuľky, grafy),
- schopnosť dokumentovať experimenty vo forme textu, schém alebo fotografií.

Projekt je vhodný aj pre motivovaných študentov bez predchádzajúcich praktických skúseností, pokiaľ majú záujem o optiku, technické experimenty a systematickú prácu v laboratóriu. Potrebné zručnosti budú rozvíjané priamo v priebehu stáže.

Financovanie:

Projekt internej stáže sa realizuje v rámci projektu: Laboratórium vláknovej a integrovanej optiky pre informačné a komunikačné digitálne technológie, KEGA 008ŽU-4/2025, KEGA – Kultúrna a edukačná grantová agentúra Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky, 2025 – 2027.

Referencie:

- [1] <https://www.profiber.eu/sk/Skolenia-a-akcie/>
- [2] <https://www.profiber.eu/sk/sluzby-a-servis/verejne-kurzy>
- [3] https://www.dipol.sk/abc_prace_s_optickymi_vlaknami_pre_zaciatocnikov_bib329.htm

2.8 Automatický popis multimediálneho obsahu pomocou multimodálnych modelov umelej inteligencie

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy

Špecifická oblasť výskumu: Umelá inteligencia a systémy Internetu vecí

Vedúci projektu: prof. Ing. Róbert Hudec, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

E-mail

Web-stránka

+421 41 513 2210

robert.hudec@uniza.sk

0000-0001-7543-5664

Automatický popis multimediálneho obsahu pomocou multimodálnych modelov umelej inteligencie

Opis projektu:

Navrhovaná stáž s názvom „Automatický popis multimediálneho obsahu pomocou multimodálnych modelov umelej inteligencie“ je zameraná na návrh a implementáciu systému, ktorý dokáže automaticky generovať textový opis vizuálneho obsahu, najmä obrázkov a videí. Hlavným cieľom stáže je vytvoriť modul, ktorý na základe analýzy vizuálnych dát (objekty, scény, činnosti, kontext) dokáže generovať zrozumiteľné a významovo presné textové anotácie využiteľné pri vyhľadávaní, indexácii a sumarizácii multimediálneho obsahu.

Navrhované riešenie bude využívať moderné multimodálne modely umelej inteligencie, ktoré umožňujú prepájanie vizuálnych a jazykových reprezentácií do spoločného sémantického priestoru. Základom systému bude kombinácia modelov pre extrakciu vizuálnych príznakov a jazykových modelov schopných generovať prirodzený jazykový opis. Využitie môžu byť architektúry ako CLIP, BLIP alebo multimodálne transformerové modely, ktoré umožňujú efektívny prevod vizuálnych informácií do textovej formy.

Študent počas stáže získa praktické skúsenosti s prípravou a spracovaním datasetov obsahujúcich videá a ich textové popisy z verejne dostupných zdrojov. Súčasťou riešenia bude aj extrakcia kľúčových snímok z videa, detekcia objektov a činností a následná syntéza výsledkov do uceleného textového popisu.

Súčasťou práce bude aj návrh jednoduchého používateľského rozhrania umožňujúceho vizualizáciu výsledkov – zobrazenie vstupného videa, kľúčového snímku spolu s automaticky generovaným textovým opisom. Implementácia bude realizovaná v jazyku Python s využitím moderných knižníc pre strojové učenie a počítačové videnie.

Výsledkom stáže bude navrhnutý systém pre automatický popis multimediálneho obsahu.

Stáž je určená pre študentov so základnými znalosťami Pythonu, strojového učenia a práce s obrazovými dátami. Je vhodná pre študentov so záujmom o multimodálne modely, počítačové videnie a aplikácie umelej inteligencie v oblasti spracovania multimediálneho obsahu.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom stáže „Automatický popis multimediálneho obsahu pomocou multimodálnych modelov umelej inteligencie“ je navrhnuť a realizovať vlastný návrh systému, do ktorého implementuje študent vlastné riešenie, ktoré umožní automatické generovanie textových opisov video obsahu.

Čiastkové ciele projektu zahŕňajú:

- návrh architektúry systému pre automatický popis multimediálneho obsahu,
- využitie moderných multimodálnych modelov,
- integráciu detekcie objektov, scén a činností do procesu generovania textu,
- vytvorenie technickej dokumentácie a návrh možností ďalšieho rozširovania systému v súlade s grantom „Automatický popis MM obsahu“.

Cieľom je nielen vytvoriť technicky funkčný modul, ale aj porozumieť princípom multimodálneho spracovania dát, overiť presnosť a využiteľnosť automaticky generovaných popisov a navrhnuť ich praktické použitie vo výskume aj praxi.

Metodológia projektu:

Stáž bude prebiehať v niekoľkých postupných etapách, ktoré na seba metodicky nadväzujú:

Fáza 1: Analýza požiadaviek

V úvodnej fáze sa študent zameria na podrobnú analýzu existujúcich prístupov k automatickému popisu video obsahu. Preskúma vedecké práce a dostupné riešenia v oblasti video captioning so zameraním na multimodálne modely. Dôraz bude kladený na pochopenie architektúr, ktoré prepájajú vizuálne a jazykové reprezentácie, ako aj na ich silné a slabé stránky. Výstupom tejto fázy bude jasná špecifikácia funkčných a nefunkčných požiadaviek na navrhovaný systém a výber vhodného metodického prístupu.

Fáza 2: Príprava dát

V tejto fáze študent vyberie vhodné datasety obsahujúce videá spolu s textovými popismi z verejne dostupných zdrojov. Dáta budú podrobené predspracovaniu, ktoré zahŕňa čistenie textových popisov, odstránenie nekonzistentných záznamov a normalizáciu formátov. Videá budú optimalizované z hľadiska rozlíšenia, formátu a dĺžky tak, aby boli vhodné pre vstup do modelov. Cieľom je zabezpečiť kvalitné a konzistentné dáta pre tréning a testovanie systému.

Fáza 3: Extrakcia vizuálnych príznakov

V tretej fáze sa implementujú moduly na analýzu vizuálneho obsahu. Študent navrhne a otestuje riešenia pre detekciu objektov, scén a prípadne činností v obrazoch a videách. Pri spracovaní videa bude realizovaný aj výber kľúčových snímok, ktoré najlepšie reprezentujú obsah záznamu. Výsledkom tejto fázy budú vizuálne príznaky, ktoré budú slúžiť ako vstup pre generovanie textového popisu.

Fáza 4: Generovanie textového popisu

V tejto fáze dôjde k prepojeniu extrahovaných vizuálnych príznakov s jazykovým modelom. Študent implementuje mechanizmus, ktorý na základe vizuálnych vstupov generuje prirodzený jazykový opis multimediálneho obsahu. Testované budú rôzne spôsoby generovania textu s cieľom dosiahnuť zrozumiteľné, kontextovo presné a gramaticky správne vety. Dôraz bude kladený na zachytenie významu scény a vzťahov medzi objektmi.

Fáza 5: Testovanie

V tejto fáze sa uskutoční testovanie presnosti a kvality generovaných popisov pomocou vhodných metrík a porovnaní s referenčnými popismi. Okrem kvality výstupov sa bude hodnotiť aj rýchlosť spracovania a stabilita systému. Výsledky testovania poslúžia na identifikáciu slabých miest a následnú optimalizáciu riešenia.

Fáza 6: Dokumentácia a prezentácia výsledkov

V závere stáže študent vypracuje technickú dokumentáciu, ktorá bude obsahovať opis architektúry, metodiky a experimentálnych výsledkov.

Požadované kvality/znalosti študenta:

Študent, ktorý bude projekt riešiť, by mal disponovať viacerými odbornými i osobnostnými kvalitami: Odborné znalosti:

- Základné znalosti umelej inteligencie a strojového učenia, najmä princípov neurónových sietí a hlbokého učenia.
- Základy počítačového videnia a spracovania obrazu, vrátane pojmov ako detekcia objektov, extrakcia príznakov a reprezentácia obrazu.
- Základné povedomie o spracovaní prirodzeného jazyka (NLP) a generovaní textu (embeddingy, jazykové modely).
- Skúsenosti s programovaním v jazyku Python.

Požadované vlastnosti:

- Schopnosť pracovať s datasetmi (načítanie, čistenie, predspracovanie dát).
- Základná orientácia v práci s obrazovými a video dátami (formáty, rozlíšenie, snímky).
- Schopnosť experimentovať s modelmi, vyhodnocovať výsledky a interpretovať namerané metriky.
- Základná znalosť práce s vývojovými nástrojmi (Git, virtuálne prostredia).

Projekt je vhodný pre študenta so záujmom o strojové učenie, počítačové videnie, umelú inteligenciu.

Financovanie:

Financovanie navrhovanej stáže „Automatický popis multimediálneho obsahu pomocou multimodálnych modelov umelej inteligencie“ môže byť priamo prepojené s existujúcimi grantovými a

výskumnými aktivitami v oblasti umelej inteligencie a spracovania multimediálnych dát realizovanými na pracovisku. Hlavným potenciálnym zdrojom financovania je interný grant „Automatický popis MM obsahu“, ktorý tematicky zodpovedá zameraniu stáže a podporuje výskum v oblasti analýzy, spracovania a automatickej interpretácie multimediálneho obsahu.

Finančné prostriedky z grantu budú využité najmä na podporu výskumnej a publikačnej činnosti spojenej so stážou ako aj prezentáciu a publikovanie dosiahnutých výsledkov. Takéto prepojenie stáže s grantovým projektom zabezpečí odbornú kontinuitu riešenia, efektívne využitie dostupných zdrojov a vyššiu kvalitu výstupov stáže.

Referencie:

- [1]SEO, P. H., NAGRANI, A., ARNAB, A. End-to-End Generative Pretraining for Multimodal Video Captioning. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2022. Dostupné na: https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2022/html/Seo_End-to-End_Generative_Pretraining_for_Multimodal_Video_Captioning_CVPR_2022_paper.html
- [2]CALZADA-LEDESMA, V., CASTILLO-OLIVETTO, V. From Keyframes to Narrative: A Multi-stage AI Pipeline for Scene Understanding Using Object Detection and Large Language Models. Springer, 2025. Dostupné na: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-032-09044-7_23
- [3]BAO, X., XIE, C., TANG, H., WENG, T. DynImg: Key Frames with Visual Prompts are Good Representation for Multi-Modal Video Understanding. ICCV, 2025. Dostupné na: https://openaccess.thecvf.com/content/ICCV2025/html/Bao_DynImg_Key_Frames_with_Visual_Prompts_are_Good_Representation_for_ICCV_2025_paper.html
- [4]AGARWAL, L., VERMA, B. Towards Explainable AI: Multi-Modal Transformer for Video-based Image Description Generation. arXiv preprint, 2025. Dostupné na: <https://arxiv.org/abs/2504.16788>
- [5]SCHOEFFMANN, K., LEOPOLD, M. AI-based Video Content Understanding for Automatic and Interactive Multimedia Retrieval. CVPR Workshops, 2025. Dostupné na: https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2025W/IViSE/html/Schoeffmann_AI-based_Video_Content_Understanding_for_Automatic_and_Interactive_Multimedia_Retrieval_CVPRW_2025_paper.html
- [6]KOROLKOV, V. Scene Detection Policies and Keyframe Extraction Strategies for Large-Scale Video Analysis. arXiv preprint, 2025. Dostupné na: <https://arxiv.org/abs/2506.00667>
- [7]IASHIN, V., RAHTU, E. Multi-Modal Dense Video Captioning. CVPR Workshops, 2020. (metodicky relevantné, často citované) Dostupné na: https://openaccess.thecvf.com/content_CVPRW_2020/html/w56/lashin_Multi-Modal_Dense_Video_Captioning_CVPRW_2020_paper.html
- [8]RADFORD, A. et al. Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision (CLIP). ICML, 2021. Dostupné na: <https://proceedings.mlr.press/v139/radford21a.html>
- [9]LI, J. et al. BLIP: Bootstrapping Language-Image Pre-training for Unified Vision-Language Understanding and Generation. ICML, 2022. Dostupné na: <https://arxiv.org/abs/2201.12086>
- [10]LI, J. et al. BLIP-2: Bootstrapping Language-Image Pre-training with Frozen Image Encoders and Large Language Models. ICML, 2023. Dostupné na: <https://arxiv.org/abs/2301.12597>
- [11]ALAYRAC, J.-B. et al. Flamingo: A Visual Language Model for Few-Shot Learning. NeurIPS, 2022. Dostupné na: <https://arxiv.org/abs/2204.14198>
- [12]WANG, J. et al. M3: Multimodal Memory Modelling for Video Captioning. CVPR, 2018. (referenčný základ, stále používaný) Dostupné na: https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2018/html/Wang_M3_Multimodal_Memory_CVPR_2018_paper.html
- [13]NAGRANI, A. et al. Learning Audio-Visual Representations from Image Captions. ECCV, 2022. Dostupné na: <https://arxiv.org/abs/2204.00679>
- [14]MATHARIYA, S. K., MORE, A., JAWALKAR, A. Precise Scene Timestamping and Content Retrieval using AI-Powered Multimodal Systems. IEEE, 2025. Dostupné na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11199093>
- [15]XU, J., YAO, T., ZHANG, Y., MEI, T. Learning Multimodal Attention Networks for Video Captioning. ACM Multimedia, 2017. (attention princíp – metodický základ) Dostupné na: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3123266.3123448>

2.9 Využitie generatívnych adverzariálnych sietí pri návrhu fotonických integrovaných zariadení

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy, Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Strojové učenie a integrovaná fotonika

Vedúci projektu: Ing. Maroš Jakubec, PhD. / Ing. Daniel Benedikovic, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2227	maros.jakubec@uniza.sk daniel.benedikovic@uniza.sk	https://optolab.feit.uniza.sk/

Využitie generatívnych adverzariálnych sietí pri návrhu fotonických integrovaných zariadení

Opis projektu:

Návrh fotonických integrovaných zariadení predstavuje jednu z kľúčových oblastí výskumu a vývoja moderných optických technológií, najmä v kontexte optických komunikačných systémov, senzorických aplikácií a platforiem pre kvantové spracovanie informácie. Neustále rastúce požiadavky na výkon, miniaturizáciu, energetickú efektívnosť a funkčnú komplexnosť fotonických čipov kladú vysoké nároky na návrhové postupy, použité simulačné nástroje a celkový vývojový cyklus zariadení.

Tradičný proces návrhu fotonických integrovaných zariadení sa opiera predovšetkým o analytické a numerické metódy, ktoré riešia Maxwellove rovnice opisujúce šírenie elektromagnetického poľa v komplexných vlnodvodných a viacvrstvových štruktúrach. Medzi najčastejšie využívané numerické metódy patria FDTD (Finite-Difference Time-Domain), FEM (Finite Element Method), FDE (Finite Difference Eigenmode) a BPM (Beam Propagation Method). Tieto metódy umožňujú detailné a presné modelovanie elektromagnetických javov a poskytujú vysokú mieru presnosti pri analýze vlastností navrhovaných fotonických zariadení.

Významnou nevýhodou uvedených prístupov je však ich vysoká výpočtová a časová náročnosť, najmä pri simuláciách trojrozmerných štruktúr alebo pri opakovaných optimalizačných cykloch. Táto skutočnosť výrazne komplikuje návrhový proces a predlžuje vývojový cyklus fotonických integrovaných zariadení, čo je obzvlášť problematické pri návrhu komplexných a technologicky náročných komponentov. Pri pokročilých fotonických štruktúrach, akými sú subvlnové mriežky, metamateriálové komponenty, viacvrstvové väzobné členy, výkonové deliče alebo spektrálne filtre, rastie počet návrhových parametrov do takej miery, že systematické prehľadávanie celého návrhového priestoru sa stáva prakticky nemožným.

V dôsledku toho je návrh fotonických zariadení často založený na skúsenostiach návrhára, heuristických pravidlách a iteratívnom doladovaní, čo obmedzuje schopnosť objavovať optimálne alebo netradičné riešenia a spomaľuje inovačný proces. Tieto výzvy vytvárajú silnú motiváciu pre vývoj nových návrhových metodík a optimalizačných prístupov, ktoré dokážu efektívnejšie prehľadávať rozsiahly návrhový priestor a výrazne skrátiť čas potrebný na vývoj moderných fotonických integrovaných zariadení.

S rastúcimi požiadavkami na výkon, flexibilitu, škálovateľnosť a miniaturizáciu fotonických integrovaných zariadení sa preto do popredia dostávajú inteligentné optimalizačné prístupy založené na umelej inteligencii a strojovom učení. Cieľom týchto prístupov je nielen zrýchliť proces návrhu rôznych fotonických komponentov, ale aj umožniť objavovanie inovatívnych geometrických riešení, ktoré by pri použití klasických návrhových metód mohli zostať nepovšimnuté.

Jedným z najperspektívnejších prístupov v tejto oblasti je využitie generatívnych adverzariálnych sietí (Generative Adversarial Networks, GANs). Tieto moderné architektúry strojového učenia sa pôvodne presadili v oblasti generovania realistických obrazov a dátových štruktúr, avšak v posledných rokoch nachádzajú čoraz širšie uplatnenie aj v kontexte integrovanej fotoniky. Na základe tréningovej množiny existujúcich návrhov zariadení alebo numericky generovaných simulačných dát dokážu GAN siete automaticky generovať nové varianty fotonických štruktúr, pričom ich vlastnosti je možné cielene optimalizovať podľa zvolených parametrov, ako sú vložné straty, šírka spektrálneho pásma, smerovosť, polarizačné vlastnosti alebo robustnosť voči technologickým variáciám.

Tento prístup predstavuje zásadný posun od manuálnej a časovo náročnej optimalizácie smerom k automatizovanému, dátovo orientovanému návrhovému procesu, ktorý kombinuje fyzikálne modelovanie s nástrojmi umelej inteligencie. Využitie generatívnych modelov pri návrhu fotonických integrovaných zariadení tak môže výrazne urýchliť inovačný cyklus, znížiť výpočtové náklady a viesť k objaveniu neštandardných riešení s vysokým vedecko-výskumným aj aplikačným potenciálom.

Ciele projektu:

Hlavným zámerom je vytvoriť moderný, dátovo orientovaný rámec návrhu fotonických integrovaných zariadení, ktorý umožní generovať inovatívne a vysoko výkonné štruktúry.

Konkrétne ciele projektu internej výskumnej stáže sú:

- **Preskúmať potenciál existujúcich GAN architektúr** pri automatickom generovaní návrhov rôznych fotonických komponentov. Cieľom je overiť, či GAN dokáže identifikovať neštandardné, no vysoko efektívne štruktúry, ktoré by tradičnými metódami návrhu zostali neobjavené
- **Vybudovať (využiť) rozsiahly dataset geometrických parametrov a ich výkonnostných charakteristík**, založený na numerických simuláciách, potenciálne doplnený o dáta z existujúcej vedeckej literatúry. Dataset bude slúžiť ako tréningová báza pre GAN a zároveň ako referenčný rámec pre porovnanie výkonnosti realizovaných GAN modelov
- **Implementovať a optimalizovať vybraný GAN model**, ktorý bude schopný generovať nové návrhy zariadení na základe zadaných cieľových parametrov, ako sú minimálne vložné straty, vysoká smerovosť, široké spektrálne pásmo alebo robustnosť voči technologickým variáciám
- **Overenie vybraných návrhov** prostredníctvom detailných numerických simulácií a možné vypracovanie metodiky pre ich budúcu technologickú realizáciu

Realizácia týchto cieľov prispeje k rozvoju nového prístupu pre návrh fotonických integrovaných zariadení, založených na synergii umelej inteligencie a fyzikálne presných simulačných metód. Výsledky projektu majú potenciál urýchliť návrh nových komponentov, znížiť výpočtovú náročnosť a potenciálne priniesť inovatívne riešenia pre optické siete.

Projekt je koncipovaný tak, aby vytvoril priestor pre postupný rast študenta – od zvládnutia základných úloh v rámci zadania až po samostatné návrhy a interpretáciu dosiahnutých. Nadobudnuté skúsenosti môžu priamo prispieť k vypracovaniu záverečnej (diplomovej) práce a poskytnúť základ pre dlhodobejšie zapojenie do prebiehajúcich výskumných aktivít pracoviska.

Metodológia projektu:

Realizácia projektu bude založená na kombinácii numerických simulácií, strojového učenia a validácie výsledkov. Postup práce je rozdelený do piatich na seba nadväzujúcich etáp:

1. Definícia cieľových zariadení

Výber konkrétnych typov fotonických komponentov, ktoré budú slúžiť ako referenčné príklady pre aplikáciu GAN. V počiatočnej fáze budú prioritizované zariadenia s vysokým praktickým významom a bohatou dokumentáciou v literatúre. Pre každý typ komponentu budú stanovené cieľové výkonnostné parametre.

2. Tvorba (využitie) datasetu

Dataset bude vytvorený kombináciou z numerických simulácií alebo publikovaných dát z vedeckých článkov a open-source repozitárov. Pre každú geometriu budú extrahované definované kľúčové výstupné parametre. Dataset bude štruktúrovaný tak, aby bol kompatibilný s tréningom neurónových sietí.

3. Vývoj a tréning GAN modelu

Implementácia generátora, ktorý bude produkovať návrhy štruktúr. Implementácia diskriminátora, ktorý bude hodnotiť kvalitu návrhu podľa jeho realizovateľnosti a očakávaných výkonových parametrov. Nasadenie podmienených GAN (cGAN), ktoré umožnia generovať návrhov na základe zadaných cieľových parametrov. Potenciálna optimalizácia tréningového procesu

4. Validácia a porovnanie

Generované návrhy budú spätne overované numerickými simuláciami s cieľom získať reálne výkonnostné dáta. Výsledky GAN návrhov môžu byť porovnané s inými metódami návrhu. Hodnotenie sa zameria na definované metriky konkrétnych zariadení.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Zvedavosť pre nové výskumné skúsenosti a úlohy
- Kreativita a proaktivita pri hľadaní inovatívnych riešení
- Schopnosť komunikovať a zdieľať dosiahnuté výsledky v ústnej a písomnej forme
- Základné znalosti z oblasti strojového učenia sú výhodou
- Znalosti z návrhu fotonických integrovaných obvodov sú výhodou, nie však požadované

Financovanie:

Projekt internej stáže sa realizuje v rámci projektu: *Laboratórium vláknovej a integrovanej optiky pre informačné a komunikačné digitálne technológie*, KEGA 008ŽU-4/2025, KEGA – Kultúrna a edukačná grantová agentúra Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky, 2025 – 2027.

Referencie:

- [1] Alec M. Hammond and Ryan M. Camacho, "Designing integrated photonic devices using artificial neural networks" *Optics Express* Vol. 27, Issue 21, pp. 29620-29638 (2019)
- [2] Jiaqi Jiang, Mingkun Chen & Jonathan A. Fan, "Deep neural networks for the evaluation and design of photonic devices" *Nature Reviews Materials* volume 6, pages679–700 (2021)
- [3] Jumin Qiu, Ganqing Lu, Tingting Liu, Dejian Zhang, Shuyuan Xiao & Tianbao Yu, "Optoelectronic generative adversarial networks" *Communications Physics* volume 8, Article number: 162 (2025)
- [4] Daniele Melati, Dan-Xia Xu, Yuri Grinberg, Muhammad Al-Digeil, "Inverse design of photonic integrated devices: Optimization and machine learning" *APL Photonics* 10, 101101 (2025)
- [5] Michel Frising, Jorge Bravo-Abad and Ferry Prins, "Tackling multimodal device distributions in inverse photonic design using invertible neural networks" 2023 *Mach. Learn.: Sci. Technol.* 4 02LT02

2.10 Digitálne dvojča mesta Žilina II.

Pracovisko: Katedra riadiacich a informačných systémov

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy

Špecifická oblasť výskumu: Industry 4.0

Vedúci projektu: Ing. Pavol Kuchár, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 3309

E-mail

pavol.kuchar@uniza.sk

Web-stránka

-

Digitálne dvojča mesta Žilina II.

Opis projektu:

Predkladaná stáž predstavuje pokračovanie komplexnej výskumnej a inovačnej iniciatívy, ktorej hlavným cieľom je vyvinúť metodiku zberu, integrácie a využitia environmentálnych dát v rámci digitálneho dvojčata mesta. Digitálne dvojča je model reálneho mestského prostredia, ktorý umožňuje dynamickú simuláciu, analýzu a predikciu rôznych javov a procesov v reálnom čase. Iniciatíva sa zameriava na vytvorenie prepojenia medzi fyzickým svetom a jeho digitálnym zrkadlom pomocou internetu vecí (IoT), pričom senzory môžu zbierať údaje o kvalite ovzdušia, hluku, mikroklimě, vlhkosti, teplote, spotrebe energií, dopravy a ďalších relevantných parametroch.

Získané dáta budú spracované, analyzované a vizualizované v digitálnom modeli mesta, ktorý poskytne nástroje na pokročilé monitorovanie, plánovanie a rozhodovanie. Stáž sa zameriava na využitie týchto údajov pre potreby mestských samospráv, urbanistov, odborníkov v oblasti životného prostredia, ako aj pre občiansku verejnosť, čím výrazne zvyšuje transparentnosť, efektivitu a udržateľnosť mestského plánovania a správy. Zároveň posilňuje interdisciplinárnu spoluprácu medzi oblasťami IT, environmentálneho inžinierstva, geografických informačných systémov (GIS) a smart city technológií.

Jedinečnosť stáže spočíva v jej schopnosti integrovať statické a dynamické dáta, prepojiť ich s fyzickými procesmi v meste a na ich základe testovať rôzne scenáre rozvoja alebo krízových situácií (napr. znečistenie ovzdušia, dopravné zápchy, energetické výkyvy). Vďaka tomu sa stáž stáva kľúčovým nástrojom pre efektívne a prediktívne riadenie mestského prostredia, čím prispieva k dlhodobej environmentálnej udržateľnosti a zvýšeniu kvality života obyvateľov.

Ciele projektu:

Medzi predpokladané výstupy patrí digitálne dvojča mesta Žilina. Možno očakávať zverejnenie vedeckého článku v zahraničných časopisoch s adekvátnym kvartilom alebo prezentácia dosiahnutých výsledkov na konferenciách.

Metodológia projektu:

- Analýza požiadaviek
- Zber dát
- Integrácia a spracovanie
- Modelovanie
- Vizualizácia
- Diseminácia

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Programovacie nadanie
- Znalosť Industry 4.0
- Predchádzajúce skúsenosti so stážou „Digitálne dvojča mesta Žilina“

Financovanie:

Grantový systém UNIZA (prijatý – TWIN4ECO)

Referencie:

[1] **Digitálne dvojčatá pomáhajú v plánovaní rozvoja inteligentných miest**

<https://www.smartcity.gov.sk/aktuality/digitalizacia/digitalne-dvojcata-pomahaju-v-planovani-rozvoja-inteligentnych-miest/index.html>

2.11 Hybridné fotonické integrované štruktúry na platforme $\text{Si}_3\text{N}_4/\alpha\text{-Si}$

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy, Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Integrovaná fotonika a optoelektronika

Vedúci projektu: Ing. Jan Litvik, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2227

E-mail

jan.litvik@uniza.sk

Web-stránka

<https://optolab.feit.uniza.sk/>

Hybridné fotonické integrované štruktúry na platforme $\text{Si}_3\text{N}_4/\alpha\text{-Si}$

Opis projektu:

Fotonické integrované obvody na báze nitridu kremíka (Si_3N_4) patria v súčasnosti medzi najperspektívnejšie riešenia v oblasti integrovanej fotoniky, najmä v aplikáciách, kde sú kladené vysoké nároky na nízke optické straty a široké spektrálne pásmo. Vďaka týmto vlastnostiam sa platforma Si_3N_4 etablovala ako kľúčový materiálový systém pre široké spektrum pasívnych fotonických aplikácií v oblasti optických komunikácií, senzoriky, metrológie a kvantovej fotoniky. Platforma Si_3N_4 sa vyznačuje veľmi nízkym optickým útlmom v telekomunikačných pásmach (okolo 1,3 μm a 1,55 μm), ako aj v krátkovlnnom infračervenom spektre. Široké zakázané pásmo materiálu eliminuje nežiaducu dvojfotónovú absorpciu pri bežných prevádzkových výkonoch, čo umožňuje stabilnú prevádzku aj pri zvýšených optických výkonoch. Okrem toho Si_3N_4 vykazuje výbornú tepelnú a chemickú stabilitu, ako aj kompatibilitu s etablovanými polovodičovými výrobnými procesmi, čo z neho robí atraktívnu platformu z hľadiska opakovateľnej výroby a integrácie do komplexných čipov. Materiálové a technologické vlastnosti Si_3N_4 sú výhodné pre pasívne fotonické zariadenia. Typickými príkladmi sú nízko-stratové vlnovody, vysokokvalitné optické rezonátory, interferenčné a multimódové štruktúry, ako aj optické rozbočovače a zlučovače s vysokým faktorom kvality a vynikajúcou stabilitou.

Napriek uvedeným materiálovým a technologickým výhodám vykazujú čisto monolitické štruktúry Si_3N_4 viacero praktických obmedzení. Tieto limity sú dôsledkom najmä relatívne nízkeho indexu lomu Si_3N_4 v porovnaní s kremíkom, čo má priamy vplyv na uväznenie optického poľa a flexibilitu návrhu zariadení. **Jedným z najvýraznejších problémov je nižšia účinnosť optického prepojenia medzi optickým vláknom a fotonickým čipom. Nízky kontrast indexu lomu medzi Si_3N_4 vlnovodom a okolím vedie k slabšiemu vyžarovaniu svetla v mriežkových väzobných štruktúrach a k zvýšenému úniku optického poľa do substrátu.** Tento jav sa prejavuje zvýšenými stratami a obmedzuje použiteľnosť čisto monolitických Si_3N_4 riešení. **Ďalším významným obmedzením je riadenie polarizačných vlastností integrovaných štruktúr. Vysoká vertikálna symetria typických Si_3N_4 vlnovodov komplikuje návrh efektívnych polarizačných rotátorov, deličov a ďalších prvkov umožňujúcich selektívne spracovanie rozličných módo. V dôsledku toho je realizácia polarizačne diverzných alebo polarizačne nezávislých obvodov na čisto monolitickej Si_3N_4 platforme technologicky náročná a často vyžaduje kompromisy v oblasti výkonu alebo rozmerov zariadení.** Obmedzené uväznenie optického poľa sa zároveň prejavuje aj v nárokoch na rozmery integrovaných fotonických komponentov. Slabšie uväznenie svetla vo vlnovode si vyžaduje použitie väčších polomerov ohybu, aby sa minimalizovali straty. To vedie k nárastu rozmerov filtrov, oneskorovacích liniek, rezonátorov a ďalších funkčných prvkov, čo obmedzuje mieru integrácie. Uvedené obmedzenia predstavujú zásadnú výskumnú výzvu, ktorá motivuje hľadanie nových návrhových stratégií a hybridných integračných prístupov umožňujúcich rozšíriť funkčnosť Si_3N_4 platformy.

Tieto limity motivujú výskum hybridných a viacvrstvových integračných prístupov, ktoré kombinujú výhody nízko-stratovej platformy Si_3N_4 s ďalšími funkčnými materiálmi umožňujúcimi rozšírenie priestoru pre návrh fotonických zariadení. Jedným z perspektívnych riešení je hybridná integrácia amorfného kremíka ($\alpha\text{-Si}$) na Si_3N_4 platforme. $\alpha\text{-Si}$ vrstvy sa vyznačujú výrazne vyšším indexom lomu v porovnaní so Si_3N_4 , čo umožňuje lepšie priestorové uväznenie optického poľa, zvýšenú intenzitu interakcie svetla s materiálom a v konečnom dôsledku aj miniaturizáciu fotonických zariadení. Týmto spôsobom je možné čiastočne eliminovať limity čisto monolitických Si_3N_4 štruktúr, najmä v oblastiach účinnosti optického prepojenia alebo riadenia polarizácie. $\alpha\text{-Si}$ je kompatibilný s etablovanými depozičnými procesmi, čo umožňuje jeho integráciu vo forme nadstavbových (overlay) alebo

viacvrstvových funkčných vrstiev bez výrazného zásahu do základného výrobného procesu Si_3N_4 . Hybridná kombinácia $\text{Si}_3\text{N}_4/\alpha\text{-Si}$ vytvára novú triedu viacvrstvových fotonických integrovaných zariadení, v ktorých Si_3N_4 zabezpečuje nízko-stratové šírenie svetla a globálnu distribúciu optického signálu v rámci čipu, zatiaľ čo $\alpha\text{-Si}$ plní úlohu lokálneho funkčného prvku so zosilnenou interakciou svetla s materiálom. Takáto architektúra umožňuje flexibilné rozdelenie funkcií medzi jednotlivé materiálové vrstvy a výrazne rozširuje návrhové možnosti integrovaných fotonických obvodov. Hybridný prístup taktiež otvára možnosti návrhu: hybridných vlnovodov s riadenou módomovou väzbou medzi Si_3N_4 a $\alpha\text{-Si}$ vrstvami, kompaktných multifunkčných fotonických zariadení s vyššou mierou integrácie, viacvrstvových interferenčných a módomových štruktúr s rozšírenou funkcionalitou, zariadení s lokálne zosilnenou interakciou svetla s materiálom, vhodných pre aktívne, nelineárne alebo senzorické aplikácie. Hybridná integrácia $\alpha\text{-Si}$ predstavuje systematické a technologicky realizovateľné riešenie kľúčových limitov Si_3N_4 fotonických platforiem a vytvára priestor pre vývoj novej generácie kompaktných, funkčne bohatých a škálovateľných fotonických zariadení.

Projekt internej výskumnej stáže sa zameriava na systematický výskum hybridných fotonických štruktúr na platforme $\text{Si}_3\text{N}_4/\alpha\text{-Si}$, pričom významnú úlohu zohráva aktívne zapojenie študenta do celého procesu návrhu fotonického zariadenia – od pochopenia fyzikálnych princípov, cez návrh geometrie až po numerickú analýzu a interpretáciu výsledkov. Študent tak získa praktické skúsenosti s modernými prístupmi v integrovanej fotonike a naučí sa pracovať s reálnymi návrhovými kompromismi typickými pre výskumnú prax. Dôraz je kladený na rozvoj analytického a systémového myslenia, keďže študent bude identifikovať a vyhodnocovať kompromisy medzi optickými stratami, uväznením poľa, rozmermi zariadení a jeho funkčnými vlastnosťami. Súčasťou stáže je aj práca s numerickými simulačnými nástrojmi, čo študentovi umožní nadobudnúť praktické zručnosti v oblasti modelovania, optimalizácie a validácie fotonických štruktúr, ktoré sú priamo uplatniteľné v ďalšom štúdiu aj vo výskumnej alebo priemyselnej praxi. Projekt zároveň vytvára priestor na prepojenie teoretických poznatkov so samostatnou výskumnou činnosťou, čím podporuje rozvoj schopností samostatnej práce, kritického hodnotenia výsledkov a odbornej argumentácie. Výstupy stáže môžu slúžiť ako základ pre diplomovú prácu, prípadne ako východisko pre zapojenie študenta do širších výskumných projektov fakulty.

Ciele projektu:

Teoretickú analýzu a odborná rešerš hybridných fotonických platforiem $\text{Si}_3\text{N}_4/\alpha\text{-Si}$, Štúdium aktuálnych vedeckých článkov a identifikácia hlavných princípov a limitov
Numerické simulácie a analýza vybraných hybridných fotonických štruktúr, so zameraním na módomové vlastnosti, optické straty, spektrálne správanie a polarizačné charakteristiky
Návrh a optimalizácia vlastných hybridných zariadení na platforme $\text{Si}_3\text{N}_4/\alpha\text{-Si}$, demonštrujúc výhody viacvrstvej integrácie z hľadiska funkčnosti a smart manažmentu na čipe
Zhodnotenie získaných výsledkov a ich spracovanie.

Metodológia projektu:

Realizácia projektu bude prebiehať v niekoľkých na seba nadväzujúcich etapách, ktoré systematicky pokrývajú teoretickú, návrhovú aj analytickú časť riešenia.

1. Teoretická analýza a odborná rešerš

- štúdium základných fyzikálnych princípov integrovanej fotoniky so zameraním na platformu Si_3N_4 ,
- analýzu súčasného stavu poznania v oblasti hybridnej integrácie $\text{Si}_3\text{N}_4/\alpha\text{-Si}$,
- systematickú rešerš relevantných vedeckých článkov
- identifikáciu hlavných návrhových prístupov, výhod, a limitov.

2. Definovanie návrhových scenárov a štruktúr

Na základe teoretickej analýzy budú:

- zvolené vhodné geometrie Si_3N_4 vlnovodov a $\alpha\text{-Si}$ overlay vrstiev,
- definované základné parametre hybridnej platformy (hrúbky vrstiev, šírky vlnovodov, indexové kontrasty),
- navrhnuté jednoduché referenčné a hybridné štruktúry

3. Numerické simulácie a analýza vlastností

V hlavnej riešiteľskej fáze projektu študent vykoná:

- módomú analýzu hybridných štruktúr (efektívne indexy, módomové profily, polarizačné vlastnosti),
- simulácie šírenia optického poľa pomocou numerických metód (napr. FDTD, EME, BPM),
- analýzu optických strát, spektrálneho správania a citlivosti na geometrické parametre,
- porovnanie čisto monolitických Si_3N_4 štruktúr s hybridnými $\text{Si}_3\text{N}_4/\alpha\text{-Si}$ riešeniami.

4. Optimalizácia a návrh vlastných hybridných zariadení

Na základe výsledkov simulácií bude študent:

- optimalizovať vybrané geometrické parametre hybridných zariadení,

- navrhovať kompaktné fotonické prvky so zlepšeným výkonovým, spektrálnym, módovým alebo polarizačným manažmentom,
- overovať robustnosť návrhov voči technologickým toleranciam.

5. Vyhodnotenie výsledkov a dokumentácia

V záverečnej fáze projektu sa študent zameria na:

- systematické vyhodnotenie a interpretáciu dosiahnutých výsledkov,
- porovnanie s existujúcimi riešeniami v literatúre,
- spracovanie výsledkov do technickej alebo výskumnej správy,
- formuláciu záverov a odporúčaní pre ďalší výskum

Požadované kvality/znalosti študenta:

- záujem o integrovanú fotoniku, optiku a moderné technológie
- technické a analytické myslenie
- schopnosť pracovať s odborným textom v anglickom jazyku
- zodpovedný prístup k práci, časová flexibilita a motivácia pre odborný rozvoj

Financovanie:

Multiband photonic integrated library for quantum-optical systems (MIRAQLE) schéma podpory: Národný plán obnovy a odolnosti Slovenskej republiky: Štipendiá pre excelentných výskumníkov a výskumníčky R2-R4, 09I03-03-V04-00410 doba realizácie: 07/2024 – 08/2026

Referencie:

- [1] William Fraser, et al., "High-efficiency self-focusing metamaterial grating coupler in silicon nitride with amorphous silicon overlay" Scientific Reports volume 14, Article number: 11651 (2024)
- [2] Rahul K. Dash, et al., "Sandwiched hybrid waveguide platform for integrated photonics application" Optics Communications Volume 550, 1 January 2024, 129959
- [3] Chao Xiang, et al., "Silicon nitride passive and active photonic integrated circuits: trends and prospects" Photonics Research Vol. 10, Issue 6, pp. A82-A96 (2022)
- [4] Andreas Frigg, et al., "Low loss CMOS-compatible silicon nitride photonics utilizing reactive sputtered thin films" Optics Express Vol. 27, Issue 26, pp. 37795-37805 (2019)[5] Radovan Korček, et al., "Low-loss grating coupler based on inter-layer mode interference in a hybrid silicon nitride platform" Optics Letters Vol. 48, Issue 15, pp. 4017-4020 (2023)

2.12 Tvorba vektorovej databázy pre multimodálne dáta (obrázky a textové popisy)

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy

Špecifická oblasť výskumu: Umelá inteligencia a systémy Internetu vecí

Vedúci projektu: Ing. Martina Radilová, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2239

E-mail

martina.radilova@uniza.sk

Web-stránka

0000-0002-9105-4228

Tvorba vektorovej databázy pre multimodálne dáta (obrázky a textové popisy)

Opis projektu:

Navrhovaná stáž s názvom „Tvorba vektorovej databázy pre multimodálne dáta (obrázky a textové popisy)“ je zameraná na prepojenie vizuálnych a jazykových informácií pomocou moderných modelov umelej inteligencie. Cieľom stáže je vytvoriť neutrálny model, ktorý umožní prevod obrázkov a ich popisov do spoločného vektorového priestoru a ich následné uloženie do vektorovej databázy. Výsledkom bude riešenie, ktoré dokáže akýkoľvek obrázok a text k nemu vygenerovaný na základe sémantickej podobnosti, teda podľa významu previesť na vektor.

Študent počas stáže získa skúsenosti s modernými embedding modelmi, ktoré dokážu prevádzať multimodálne dáta do numerickej formy vhodnej na porovnávanie. Hlavnou úlohou bude pripraviť dataset obrázkov a ich textových popisov, napríklad z verejných zdrojov ako COCO alebo Unsplash aby boli konzistentné s vygenerovanými popismi. Následne sa použije model CLIP (Contrastive Language-Image Pretraining) alebo alternatívny model, ako OpenCLIP či Sentence-BERT, na výpočet vektorov pre obrázky aj texty. Takto získané vektory budú tvoriť vstup pre budovanie vektorovej databázy.

V ďalšej fáze študent modul pre prevod obrázkov a ich sémantických popisov do vektorovej formy nasadí do prototypu už vytvoreného v rámci internej stáže 2025/26 – zima. Dôležitou súčasťou bude otestovanie efektivity indexácie a rýchlosti vyhľadávania, aby systém dokázal nájsť najpodobnejšie obrázky či texty v čo najkratšom čase podľa kľúčových slov.

Súčasťou práce bude aj implementácia modulu do používateľského rozhrania, ktoré umožní vizualizovať výsledky vyhľadávania. Počas riešenia projektu bude študent využívať jazyk Python.

Očakávaným výsledkom stáže je funkčný prototyp systému, ktorý dokáže automaticky prevádzať obrázky a texty do vektorovej reprezentácie a umožní vyhľadávanie na základe významovej podobnosti. Výstupom bude tiež dokumentácia, ktorá popíše celý proces od získania dát až po testovanie a vyhodnotenie systému.

Stáž je určená pre študentov informatiky, umelej inteligencie alebo dátovej vedy, ktorí majú základné znalosti Pythonu, strojového učenia a prác s dátami. Vhodná je pre tých, ktorí sa zaujímajú o multimodálne modely, umelú inteligenciu a moderné vyhľadávacie systémy založené na významovej podobnosti. Očakáva sa, že študent počas stáže získa praktické skúsenosti s prácou s vektorovými databázami a naučí sa prepájať textové a vizuálne dáta pomocou najnovších AI technológií.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom stáže „Tvorba vektorovej databázy pre multimodálne dáta (obrázky a textové popisy)“ je navrhnuť, implementovať a otestovať modul do prototypu SIIT2, ktorý umožní prevod vizuálnych a textových informácií do spoločného vektorového priestoru a ich následné uloženie, vyhľadávanie a analýzu vo vektorovej databáze.

Študent sa počas stáže naučí využívať moderné embedding modely (napr. CLIP, OpenCLIP, Sentence-BERT) a databázové technológie (FAISS, Qdrant, Milvus), ktoré umožňujú efektívne vyhľadávanie podľa sémantickej podobnosti medzi obrazom a textom. Cieľom je prepojiť teoretické poznatky z oblasti umelej inteligencie, strojového učenia a spracovania multimodálnych dát s ich praktickou aplikáciou v podobe funkčného prototypu systému.

Výsledkom stáže bude vytvorenie funkčného modulu, ktorý dokáže na základe vstupného textu vyhľadať obsah s najvyššou významovou podobnosťou. Súčasťou cieľa je aj vypracovanie technickej dokumentácie a návrh metodiky pre ďalšie rozširovanie systému, napríklad o právne a etické prvky

spracovania dát v súlade s grantom „Taxonómia licenčnej kompatibility pre AI tréning a aplikácia TDM výnimiek v SR/EÚ“.

Cieľom je teda nielen vytvoriť technicky funkčný modul do prototypu, ale aj pochopiť princípy multimodálneho spracovania dát, overiť výkonnosť vektorových reprezentácií a navrhnúť ich praktické využitie v oblasti umelej inteligencie, výskumu či komerčných aplikácií.

Metodológia projektu:

Stáž bude prebiehať v niekoľkých postupných etapách, ktoré na seba metodicky nadväzujú:

Fáza 1: Analýza požiadaviek

V úvodnej časti stáže študent analyzuje existujúce riešenia a vedecké prístupy k prevodu vizuálnych a textových dát do embeddingového priestoru. Bude skúmať modely ako CLIP, OpenCLIP, BLIP, ViT alebo Sentence-BERT, ktoré umožňujú spoločnú reprezentáciu obrazu a textu. Súčasťou tejto fázy bude aj preskúmanie vhodných vektorových databáz, ako sú FAISS, Milvus, Pinecone alebo Qdrant, a určenie kritérií pre ich výber (rýchlosť indexácie, pamäťová náročnosť, presnosť vyhľadávania).

Fáza 2: Príprava dát

V tejto fáze študent vytvorí alebo vyberie dataset obsahujúci obrázky a ich popisy (napr. z verejných zdrojov ako COCO, Unsplash alebo z interných datasetov). Dáta budú predspracované — texty očistené od šumu, normalizované do jednotného formátu a obrázky optimalizované pre spracovanie modelom.

Fáza 3: Generovanie embeddingov

Na vytvorených dátach študent implementuje proces výpočtu vektorových reprezentácií. Každý obrázok aj text bude prevedený do vektora s pevnou dimenziou (napr. 512 alebo 768 prvkov) pomocou predtrénovaného multimodálneho modelu. Následne sa uskutoční testovanie kvality embeddingov pomocou merania podobnosti (napr. cosine similarity).

Fáza 4: Tvorba a integrácia vektorovej databázy

Po získaní embeddingov bude vytvorená vektorová databáza, ktorá umožní efektívne vyhľadávanie podľa podobnosti. Študent navrhne dátovú štruktúru, spôsob indexovania a optimalizáciu vyhľadávania. V tejto fáze sa implementuje aj rozhranie pre komunikáciu s databázou – napríklad prostredníctvom REST API alebo skriptov v Pythone. Výber databázového riešenia sa overí experimentálne, porovnaním rýchlosti a presnosti odpovedí.

Fáza 5: Implementácia vyhľadávacieho modulu

V ďalšom kroku bude vytvorený modul, ktorý umožní zadávať dotazy vo forme textu alebo obrázkov a vyhľadávať výsledky s najvyššou podobnosťou.

Fáza 6: Dokumentácia a prezentácia výsledkov

V závere stáže študent vypracuje technickú dokumentáciu, ktorá bude obsahovať opis architektúry, metodiky a experimentálnych výsledkov.

Požadované kvality/znalosti študenta:

Študent, ktorý bude projekt riešiť, by mal disponovať viacerými odbornými i osobnostnými kvalitami:

Odborné znalosti:

- Základy umelej inteligencie a strojového učenia (neurónové siete, embeddingy, modely NLP a Computer Vision).
- Skúsenosti s programovaním v Pythone – najmä knižnice NumPy, pandas, scikit-learn, PyTorch alebo TensorFlow.
- Základy práce s embedding modelmi (napr. CLIP, OpenCLIP, Sentence-BERT, BLIP, ViT).
- Pochopenie princípov vektorových databáz a vyhľadávania podľa podobnosti (similarity search).

Požadované vlastnosti:

- Schopnosť analyzovať a čistiť dáta (detekcia chýb, duplícít, neštandardných formátov).
- Systematický prístup k riešeniu problémov a testovaniu modelov.

Projekt je vhodný pre študenta so záujmom o dátovú vedu, strojové učenie, počítačové videnie a webové technológie.

Financovanie:

Financovanie navrhovanej stáže „Tvorba vektorovej databázy pre multimodálne dáta (obrázky a textové popisy)” môže byť priamo prepojená s existujúcim grantovým a výskumnými aktivitami v oblasti umelej inteligencie a spracovania dát. Jedným z hlavných potenciálnych zdrojov je interný grant „Taxonómia licenčnej kompatibility pre AI tréning a aplikácia TDM výnimiek v SR/EÚ“, ktorý sa tematicky dotýka otázok spracovania a využívania obsahu z webových zdrojov, legislatívnych aspektov umelej inteligencie a uplatňovania výnimiek pre text a data mining (TDM). Tento grant je vhodný aj z dôvodu, že rieši podobnú problematiku ako samotná stáž – prácu s veľkými datasetmi, etické a právne aspekty spracovania multimodálnych dát a ich aplikáciu v prostredí AI systémov.

Referencie:

- [1] XIAO, C., CHUNG, I., KERBOUA, I. a STIRLING, J., 2025. MIEB: Massive Image Embedding Benchmark [online]. Proceedings of ICCV 2025. [cit. 2026-01-15]. Dostupné na: https://openaccess.thecvf.com/content/ICCV2025/html/Xiao_MIEB_Massive_Image_Embedding_Benchmark_ICCV_2025_paper.html
- [2] SYEDA-MAHMOOD, T., D'SOUZA, N. S. a KASHYAP, S., 2025. SemCLIP: Aligning vision-language encoder models to semantic spaces for stability in retrieval [online]. OpenReview. [cit. 2026-01-15]. Dostupné na: <https://openreview.net/forum?id=xrazpGhJ10>
- [3] MIRZA, M. J., ZHAO, M., MAO, Z., DOVEH, S. a LIN, W., 2024. Glov: Guided large language models as implicit optimizers for vision language models [online]. arXiv preprint. [cit. 2026-01-15]. DOI: 10.48550/arXiv.2410.06154. Dostupné na: <https://arxiv.org/pdf/2410.06154>
- [4] DAHLBECK, O., 2025. Compatibility with Multiple Embedding Models in Vector Databases [online]. Uppsala: DiVA Portal. [cit. 2025-12-19]. Dostupné na: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1964597>
- [5] KEINONEN, P. a MEDLAR, A., 2025. Personalized Product Search Using Dual Encoders and Contrastive Embedding Alignment [online]. Helsinki: University of Helsinki. [cit. 2025-12-19]. Dostupné na: <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/945c7478-3ca2-4d8e-9d45-1ff40352d244/content>
- [6] RANJAN, S., CHEMBACHERE, D. a LOBO, L., 2025. Vector Databases in AI Applications in Enterprise Agentic AI [online]. In: Proceedings of the Springer AI Systems Series. Springer. [cit. 2025-12-19]. Dostupné na: https://link.springer.com/chapter/10.1007/979-8-8688-1542-3_6
- [7] RUSUM, G. P. a ANASURI, S., 2024. Vector Databases in Modern Applications: Real-Time Search, Recommendations, and Retrieval-Augmented Generation (RAG) [online]. International Journal of Artificial Intelligence, Big Data, Computing, and Machine Systems, 5(4), s. 113–125. [cit. 2025-12-19]. DOI: 10.63282/3050-9416.IJAIBDCMS-V5I4P113
- [8] JIANG, Z., MENG, R., YANG, X., YAVUZ, S. a ZHOU, Y., 2024. Vlm2vec: Training vision-language models for massive multimodal embedding tasks [online]. arXiv preprint. [cit. 2026-01-15]. DOI: 10.48550/arXiv.2410.05160. Dostupné na: <https://arxiv.org/pdf/2410.05160>
- [9] KARLSSON, R., LEPE-SALAZAR, F. a TAKEDA, K., 2023. Compositional semantics for open vocabulary spatio-semantic representations [online]. arXiv preprint. [cit. 2026-01-15]. DOI: 10.48550/arXiv.2310.04981. Dostupné na: <https://arxiv.org/pdf/2310.04981>
- [10] ABRAMSON, J. a LANGE, P., 2025. Optimizing Vector Database Architectures for Large-Scale Embedding Storage [online]. Journal of Machine Learning Systems, 9(2), s. 112–126. [cit. 2026-01-15]. Dostupné na: <https://jmls.ai/articles/2025-vector-database>
- [11] ARORA, S., BANSAL, V. a KUMAR, P., 2024. Efficient Multimodal Representation Learning Using Contrastive Embeddings and Vector Search Systems [online]. IEEE Transactions on Multimedia, 26(4), s. 889–902. [cit. 2026-01-15]. DOI: 10.1109/TMM.2024.1234567
- [12] BANDYOPADHYAY, R. a DEY, A., 2025. Evaluating FAISS and Milvus for Scalable Semantic Search on Multimodal Data [online]. Information Systems Frontiers, Springer. [cit. 2026-01-15]. DOI: 10.1007/s10796-025-10412-y
- [13] GUPTA, K., RAO, S. a WU, H., 2024. Bridging Text and Vision: Comparative Study of CLIP, BLIP, and ViT for Cross-Modal Retrieval [online]. arXiv preprint. [cit. 2026-01-15]. DOI: 10.48550/arXiv.2406.08291
- [14] HAN, Y., KIM, J. a SHIN, D., 2025. Embedding Alignment for Cross-Lingual and Cross-Modal Retrieval Using OpenCLIP [online]. Neurocomputing, 576, s. 310–324. [cit. 2026-01-15]. DOI: 10.1016/j.neucom.2025.01.022
- [15] KELLER, T., BENNETT, J. a LARSEN, P., 2025. Benchmarking Vector Databases: A Comparative Study of FAISS, Milvus, and Pinecone [online]. ACM SIGMOD Record, 53(3), s. 44–57. [cit. 2026-01-15]. DOI: 10.1145/3654821.3654833

2.13 Návrh mriežkových väzobných členov pre integrovanú fotoniku vo viditeľnom spektre

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy, Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Integrovaná fotonika a optoelektronika

Vedúci projektu: Mgr. Anastasiia Doroshenko, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2227

E-mail

doroshenko@uniza.sk

Web-stránka

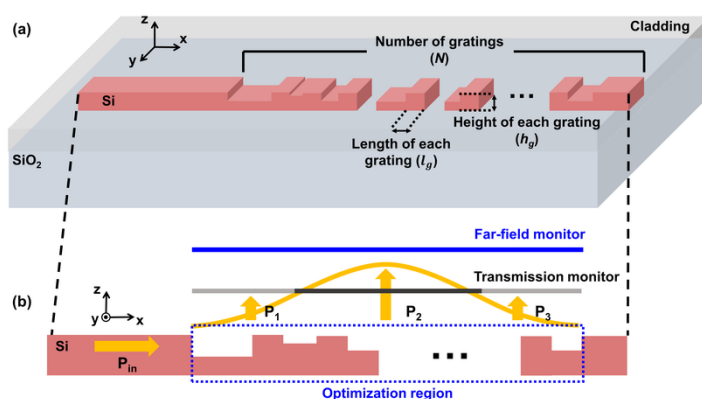
<https://optolab.feit.uniza.sk/>

Návrh mriežkových väzobných členov pre integrovanú fotoniku vo viditeľnom spektre

Opis projektu:

Integrovaná fotonika na báze nitridu kremíka (Si_3N_4) predstavuje modernú technologickú platformu pre realizáciu fotonických integrovaných obvodov pracujúcich vo viditeľnom a blízkom infračervenom spektre. Si_3N_4 sa vyznačuje nízkymi stratami, širokým transparentným pásmom (od viditeľných vlnových dĺžok približne od 400 nm až po infračervenú oblasť) a dobrou kompatibilitou s technológiami mikroelektronickej výroby [1]. Vďaka týmto vlastnostiam je Si_3N_4 vhodný pre aplikácie v optických komunikáciách, senzorike [2], kvantovej fotonike [3].

Jedným z kľúčových prvkov fotonických integrovaných obvodov sú mriežkové väzobné členy. Ide o periodické difrakčné štruktúry vytvorené na povrchu vlnovodu, ktorých úlohou je zabezpečiť efektívnu väzbu optického žiarenia medzi optickým vláknom/volným priestorom a vlnovodovom na čipe. Mriežkové väzobné členy umožňujú vertikálne vyžarovanie svetla z čipu, čo zjednodušuje experimentálne merania, testovanie čipov na waferi a optické prepojenie bez potreby leštenia hrán čipu [1]. Návrh týchto prvkov je v prípade Si_3N_4 technologicky náročný najmä v dôsledku nižšieho kontrastu indexov lomu jadra a plášťa v porovnaní s platformou kremík na izolátore (SOI), čo vedie k zníženej smerovosti vyžarovania a horšiemu prekrývaniu vyžarovaného poľa s módom optického vlákna [4]. Princíp návrhu a optimalizácie mriežkových väzobných členov spolu s typickými vyžarovacími charakteristikami je schematicky znázornený na obr. 1.



Obr. 1 Schematické znázornenie návrhu a optimalizácie mriežkového väzobného člena. (a) Optimalizačné parametre použité pri analýze geometrie mriežky. (b) Cieľové rozdelenie vyžarovaného optického výkonu pre dosiahnutie vysokej účinnosti väzby. [5]

Projekt internej výskumnej stáže je zameraný na **návrh, simuláciu a analýzu mriežkových väzobných členov optimalizovaných pre viditeľné spektrum ($\approx 400\text{--}700\text{ nm}$)**. Dôraz bude kladený na jednoduché technologické realizácie s jedným leptacím krokom (tzv. *single-etch* štruktúry), zvýšenie robustnosti návrhov voči výrobným toleranciám [1,6].

Projekt priamo nadväzuje na súčasné výskumné aktivity pracoviska v oblasti Si_3N_4 fotoniky a využíva metodologické postupy publikované v medzinárodných vedeckých časopisoch.

Experimentálne overovanie vlastností mriežkových väzobných členov si vyžaduje presné polohovanie optického vlákna voči fotonickému čipu a stabilné optické a mechanické podmienky. Na tento účel sa využívajú špecializované meracie pracoviská, ktoré umožňujú jemné nastavenie polohy vlákna, vizuálnu kontrolu štruktúr a optickú charakterizáciu väzby svetla medzi vláknom a

integrovaným vlnovodom. Príklad takéhoto experimentálneho usporiadania je znázornený na obr. 2. Použitie podobných laboratórnych zostáv je nevyhnutným predpokladom pre praktické overovanie návrhov mriežkových väzobných členov a tvorí prirodzené prepojenie medzi návrhom fotonických štruktúr a ich reálnou funkčnosťou v integrovaných fotonických systémoch.



Obr. 2 Experimentálne pracovisko na presné polohovanie optického vlákna a charakterizáciu väzby svetla medzi optickým vláknom a fotonickým integrovaným čipom.

Ciele projektu:

Cieľom projektu internej výskumnej stáže je rozšíriť poznanie v oblasti mriežkových väzobných členov pre fotonické integrované obvody na báze Si_3N_4 vlnovodov pracujúcich vo viditeľnom spektre. Projekt sa zameriava na fyzikálne princípy väzby optického žiarenia medzi optickým vláknom a vlnovodovou štruktúrou na čipe a na identifikáciu kľúčových parametrov, ktoré ovplyvňujú účinnosť, smerovosť vyžarovania a spektrálne vlastnosti mriežkových väzobných členov. Výsledkom projektu bude odborný a koncepčný základ pre ďalší výskum a experimentálne overovanie navrhovaných štruktúr.

Z pohľadu študenta je cieľom stáže porozumieť úlohe mriežkových väzobných členov v integrovanej fotonike a pochopiť ako geometrické vlastnosti jednoduchšej periodickej štruktúry ovplyvňujú správanie svetla v čipe. Študent získa intuitívne aj odborné pochopenie väzby medzi teoretickým opisom a reálnym fungovaním fotonických komponentov, čo mu poskytne pevný základ pre ďalšie štúdium a riešenie záverečných prác.

Metodológia projektu:

Projekt bude realizovaný kombináciou teoretickej analýzy, numerických simulácií a vyhodnotenia výsledkov s využitím dostupného softvérového vybavenia pracoviska.

1. **Teoretická príprava.** Študent sa oboznámi so základnými princípmi integrovanej fotoniky na báze Si_3N_4 a s fyzikálnymi princípmi mriežkových väzobných členov, najmä s mechanizmami difrakcie, smerovosti vyžarovania a väzby medzi vlnovodom a optickým vláknom.
2. **Návrh geometrie mriežky.** Návrh základnej geometrie mriežkových väzobných členov bude realizovaný s ohľadom na prevádzku vo viditeľnom a blízkom infračervenom spektre
3. **Numerická analýza a optimalizácia.** Navrhnuté štruktúry budú analyzované pomocou elektromagnetických simulačných metód, pričom optimalizácia bude založená na systematickej zmene geometrických parametrov mriežky s cieľom maximalizácie výkonu vyžarovaného smerom k optickému vláknu a potlačenia nežiaducich strát (ANSYS Lumerical, OPTI FDTD, VPIphotonics + Python).
4. **Vyhodnotenie výsledkov.** Získané výsledky budú spracované, porovnané a interpretované z hľadiska fyzikálneho významu a praktickej použiteľnosti, čím sa vytvorí základ pre ďalší výskum alebo experimentálne overovanie (MATLAB).

Výsledky numerických návrhov môžu byť v nadväznosti na projekt overované na experimentálnom pracovisku pre charakterizáciu fotonických integrovaných obvodov s využitím dostupných optických zdrojov a meracích prístrojov (laditeľné a stolové laserové zdroje, optický spektrálny analyzátor, optické detektory).

Požadované kvality/znalosti študenta:

- záujem o integrovanú fotoniku, optiku a moderné technológie
- technické a analytické myslenie
- schopnosť pracovať s odborným textom v anglickom jazyku
- zodpovedný prístup k práci, časová flexibilita a motivácia pre odborný rozvoj

Financovanie:

Multiband photonic integrated library for quantum-optical systems (MIRAQLE) schéma podpory: Národný plán obnovy a odolnosti Slovenskej republiky: Štipendiá pre excelentných výskumníkov a výskumníčky R2-R4, 09I03-03-V04-00410 doba realizácie: 07/2024 – 08/2026

Referencie:

- [1] KORČEK, R.; et al. Library of single-etch silicon nitride grating couplers for low-loss and fabrication-robust fiber–chip interconnection. *Scientific Reports*, 2023.
- [2] SUBRAMANIAN, A. Z.; et al. Silicon and silicon nitride photonic circuits for spectroscopic sensing on-a-chip [Invited]. *Photonics Research*, 2015, roč. 3, č. 5, s. B47–B59.
- [3] CHANANA, A.; et al. Ultra-low loss quantum photonic circuits integrated with single quantum emitters. *Nature Communications*, 2022, roč. 13, č. 1, článok 7693.
- [4] BENEDIKOVIČ, D.; et al. Silicon–germanium receivers for short-wave infrared optoelectronics and communications. *Nanophotonics*, 2021, roč. 10, č. 3, s. 1059–1079.
- [5] YOON, J.; et al. Inverse design of Si-based high-performance vertical emitting metagrating coupler on 220 nm silicon-on-insulator platform. *Photonics Research*, 2023, roč. 11.
- [6] FRASER, W.; et al. High-efficiency self-focusing metamaterial grating coupler in silicon nitride with amorphous silicon overlay. *Scientific Reports*, 2024.