

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A INFORMAČNÝCH TECHNOLOGIÍ

INTERNÉ VÝSKUMNÉ STÁŽE
Zimný 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 Predspracovanie a vizualizácia biosignálov získaných pri simulácii jazdy v automobile	1-2
1.2 Návrh a realizácia funkčnej vzorky izolovaného DC/DC meniča z 24V +/-20% na 24V +/-2%, 50W s LV GaN FET-mi	1-5
1.3 Zlepšenie presnosti predikcie spotreby a výroby elektrickej energie pre účely optimalizácie energetickej bilancie prosumera	1-7
1.4 Kompozitný obal pre batériový modul	1-11
1.5 Merací prípravok pre test dvojitým impulzom	1-14
2 Informačné a komunikačné vedy	2-1
2.1 Rušička odposluchu – návrh a realizácia zariadenia s využitím mikrokontroléra .	2-2
2.2 Orchestrácia dát a komunikácia pre podporu autonómnej mobility	2-5
2.3 Nástroj pre parsovanie obrazových informácií z webových stránok za účelom tvorby databáz	2-8
2.4 Fotonické integrované zariadenia na platforme oxidu gália	2-11
2.5 Vplyv rušenia a spoofingu GPS signálov na časovú synchronizáciu vysielateľov	2-14
2.6 Testovanie a metrológia prenosových parametrov optických komunikačných systémov	2-16
2.7 Využitie generatívnych adverzáriálnych sietí pri návrh fotonických integrovaných zariadení	2-19
2.8 Fotonické integrované zariadenia na platforme nitridov kremíka pre kvantové aplikácie a integráciu laserov	2-22
2.9 Silicon-based photonic devices for broadband chip access	2-25
2.10 Digitálne dvojča mesta Žilina	2-28
2.11 Bezpečné spracovanie obrazu – softvér	2-30

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 odoborno-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 Predspracovanie a vizualizácia biosignálov získaných pri simulácii jazdy v automobile

Pracovisko: Katedra teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžinierstva

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Vývoj biomedicínskych senzorov a systémov

Vedúci projektu: doc. Ing. Branko Babušiak, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2147	branko.babusiak@uniza.sk	NA

Predspracovanie a vizualizácia biosignálov získaných pri simulácii jazdy v automobile

Opis projektu:

Interná výskumná stáž sa bude zaoberať jedným z cieľov aktuálne riešeného projektu na Katedre teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžinierstva, ktorý je finančne podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja pod číslom APVV-22-0423. Názov projektu je „Vývoj modulárneho systému automobilu pre monitorovanie zdravotného stavu a únavy vodiča“ a hlavným cieľom projektového zámeru je aplikovaný výskum v oblasti vývoja modulárneho monitorovacieho systému v podobe asistenčného systému vozidla pre detekciu únavy a zdravotného stavu vodiča. Riešený projekt má prispieť k rozšíreniu základných poznatkov v oblasti neinvazívnych snímacích systémov a progresívnych materiálov na báze inteligentných elektrovodivých textílií, špeciálnych textilných materiálov, kompozitných materiálov a biomedicínskych senzorov schopných snímať základné vitálne funkcie vodiča s cieľom zvýšenia bezpečnosti cestnej premávky. Výsledkom riešenia projektu bude funkčný prototyp modulárneho monitorovacieho systému zabudovaného do funkčných častí interiéru vozidla, ktorý bude otestovaný vykonaním laboratórnych a cestných skúšok na elektromobile EDISON. Predkladaný projekt je reakciou na rastúce štatistiky nehodovosti v SR a Európe z dôvodu únavy vodiča a následnej straty pozornosti resp. mikrosopánku.

Interná výskumná stáž bude plynulo nadväzovať na predchádzajúcu výskumnú stáž, ktorej hlavným cieľom bolo vykonanie experimentálnych meraní v oblasti skúmania biologických prejavov únavy organizmu vodiča. Predchádzajúcich experimentálnych meraní sa zúčastnilo 20 dobrovoľníkov, pričom z viacerých nezávislých snímacích zariadení boli získané multikanálové záznamy obsahujúce synchronizačné značky. Z každého merania bol vyhotovený videozáznam kvôli sledovaniu vizuálnych prejavov únavy a prípadných artefaktov. Cieľom nadväzujúcej internej stáže je **pedspracovanie a synchronizácia nameraných biosignálov z existujúcich meraní a vytvorenie softvérového nástroja v prostredí MATLAB**. Nástroj bude mať grafické užívateľské rozhranie (GUI) a umožní zobrazenie synchronizovaných multikanálových dát a videozáznamu. GUI bude obsahovať základné nástroje, ktoré sú typické pre softvér zobrazujúci multikanálové dáta. Súčasťou projektu bude aj doplnenie ďalších experimentov za účelom rozšírenia databázy nameraných dát.



Obr. 1. Namerané údaje z prototypu inteligentného volantu (hore) a z biosilňovača g.Hlamp (dole)

Ciele projektu:

Cieľom projektu je spracovanie a analýza údajov získaných z predchádzajúceho projektu simulujúceho jazdu v automobile. Hlavné zameranie projektu je na predspracovanie nameraných biosignálov a vytvorenie softvérového nástroja v prostredí MATLAB, ktorý umožní:

1. **Načítanie dát** zo zariadení použitých v meraní – prototyp inteligentného volantu a multikanálového biosilňovača g.Hlamp.
2. **Synchronizáciu signálov** z oboch zariadení a ich časové zosúladenie.
3. **Odstránenie artefaktov** a identifikáciu/označenie špecifických a nešpecifických úsekov záznamu.
4. **Návrh a implementáciu prehľadného GUI**, ktoré umožní:
 - o plynulé prechádzanie zaznamenanými signálmi,
 - o zmenu dĺžky časovej základne,
 - o výber a kombináciu zobrazovaných signálov,
 - o aplikáciu základných frekvenčných filtrov.
5. **Rozšírenie datasetu** o nové merania ďalších subjektov za účelom zvýšenia variability a štatistickej významnosti výsledkov.
6. **Vytvorenie skriptov a funkcií**, ktoré budú slúžiť ako základ pre ďalšiu pokročilú analýzu biosignálov v budúcich projektoch.

Metodológia projektu:

Metodológia projektu bude rozdelená do šiestich hlavných etáp:

1. **Príprava dát**
 - o Zhromaždenie a kontrola dát nameraných v predchádzajúcom projekte.
 - o Prehľad dátových formátov z prototypu volantu a biosilňovača g.Hlamp.
 - o Návrh jednotnej dátovej štruktúry pre uloženie synchronizovaných signálov.
2. **Predspracovanie signálov**
 - o Implementácia filtrov na odstránenie rušivých artefaktov (napr. pohybové, sieťové).
 - o Označovanie úsekov so špecifickými javmi (napr. artefakty, prejavy únavy) a nešpecifických úsekov.
 - o Dokumentovanie postupov spracovania.
3. **Synchronizácia dát**
 - o Vývoj algoritmu na časové zosúladenie signálov z volantu a g.Hlamp.
 - o Overenie presnosti synchronizácie na vybraných úsekoch dát.
4. **Návrh a implementácia GUI v MATLABe**
 - o Vytvorenie používateľského rozhrania pre vizualizáciu signálov.
 - o Funkcionality GUI:
 - výber signálov na zobrazenie,
 - zmena dĺžky časovej základne,
 - aplikácia filtrov v reálnom čase,
 - navigácia v signále (zoom, posun).
 - o Testovanie použiteľnosti GUI na reálnych dátach.
5. **Rozšírenie datasetu**

- Nábor ďalších účastníkov experimentu a realizácia meraní podľa metodiky z predchádzajúceho projektu.
 - Uloženie a spracovanie nových záznamov v navrhnutom dátovom formáte.
 - Porovnanie predspracovania na starých a nových dátach.
- 6. Výstupy a dokumentácia**
- Vytvorenie sady MATLAB skriptov a funkcií pre predspracovanie a vizualizáciu dát.
 - Dokumentácia implementovaných algoritmov a používateľského rozhrania.
 - Návrhy na ďalšie rozšírenie (napr. automatická detekcia žmurknutia, HRV analýza, pokročilé EEG metódy).

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosti zo spracovania signálov v lekárstve
- Znalosti z lekárskej fyziológie človeka
- Analytické myslenie

Financovanie:

NA

Referencie:

- [1] Chang, Yu-Lung, Yen-Cheng Feng, and Oscar T-C. Chen. "Real-time physiological and facial monitoring for safe driving." 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE, 2016.
- [2] Borghini, Gianluca, et al. "Assessment of mental fatigue during car driving by using high resolution EEG activity and neurophysiologic indices." 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 2012.
- [3] Lee, Dae Seok, Teak Wei Chong, and Boon Giin Lee. "Stress events detection of driver by wearable glove system." IEEE Sensors Journal 17.1 (2016): 194-204.
- [4] Nivetha, A., et al. "Monitoring the Fatigue Conditions and Controlling the Speed of the Vehicle." International Journal of Communication Engineering and Technology. ISSN: 2277-3150.
- [5] Reyes-Muñoz, Angelica, et al. "Integration of body sensor networks and vehicular ad-hoc networks for traffic safety." Sensors 16.1 (2016): 107.

1.2 Návrh a realizácia funkčnej vzorky izolovaného DC/DC meniča z 24V +/-20% na 24V +/-2%, 50W s LV GaN FET-mi

Pracovisko: Katedra mechatroniky a elektroniky

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Progresívne materiály a polovodičové integrované technológie

Vedúci projektu: Ing. Pavol Gonščák

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 908 263 918	pavol.gonscak@feit.uniza.sk	NA

Návrh a realizácia funkčnej vzorky izolovaného DC/DC meniča z 24V +/-20% na 24V +/-2%, 50W s LV GaN FET-mi, realizácia napäťovej a prúdovej slučky spätnej väzby bez optočlena

Opis projektu:

Technické parametre spínaného napájacieho zdroja:

- Topológia: LLC rezonančný polo-most s nízkonapäťovými GaN FET-mi
- Výkon: 50W + 20%
- Vstup: 24V +/-20%
- Výstup: 24V +/-2%
- Prúdová limitácia: $I_{out} \geq 2,5A$
- Účinnosť: > 92%
- Teplotný rozsah: -40 až +105°C
- Spínacie prvky: LV GaN FET / HEMT

Koncept:

Teoretické znalosti a vlastnosti tejto topológie ponúkajú dve základné metódy regulácie:

a) Z primárnych prevádzkových parametrov transformátora V_{pri} a I_{pri} (doposiaľ nebola publikovaná ani podrobne rozpracovaná)

b) Z výstupných parametrov V_{out} a I_{out} meniča (bežne používaná metóda) a prenos nameraných hodnôt, alebo regulačnej odchýlky na primárnu stranu cez bariéru 2500Vrms bez optočlena.

- riadiaci obvod PWM / PFM: TI – UCC25800 (150kHz – 2MHz)
- LV GaN Half-Bridge + Driver: TI – LMG5200 (80V 10A, QFM9 6 x 8mm)
- Rezonančná frekvencia LLC obvodu: cca 500kHz, rozsah 400 – 700kHz
- Optimálny návrh transformátora pre spínacie frekvencie 500kHz – 1MHz (bežné feritové materiály pre prenos výkonu sú zvyčajne do 500kHz)

Ciele projektu:

Návrh a realizácia funkčnej vzorky izolovaného DC/DC meniča, jeho oživenie a testovanie.

Metodológia projektu:

- Oboznámenie študenta s problematikou a popularitou spínaných napájacích, trendy vývoja.
- Vysvetlenie princípu činnosti LLC rezonančného meniča.
- Oboznámenie študenta s prácou a využitím odporúčaných softvérových nástrojov.
- Zostavenie základnej schémy zapojenia.
- Výpočet obvodových prvkov.
- Elektrická simulácia navrhnutého zapojenia.
- Zostavenie finálnej schémy zapojenia.
- Návrh dosky plošných spojov.
- Osadenie DPS, oživenie a základné premeranie.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Teoretická elektrotechnika, elektronika, matematika a fyzika na úrovni 1. stupňa VŠ

- Manuálne zručnosti pri návrhu DPS a zostavení funkčnej vzorky – skúsenosti sú vítané, ale možno ich nadobudnúť aj počas stáže.
- Softvérové znalosti – bude poskytnuté jednoduché zaškolenie, hlbšie znalosti bude možné nadobudnúť počas stáže.
- MathCAD Prime 10.0+ od PTC: <https://www.mathcad.com/en/try-and-buy/mathcad-express-free-download> (profesionálny inžiniersky výpočtový nástroj)
- LT Spice 24+ od Linear Technology: <https://www.kicad.org/download/windows/> (free SW na simulácie elektrických obvodov)
- KiCAD 8.0.2+ od CERN: <https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html> (free SW na kreslenie schémy, návrh DPS, zostavenie 3D modelu pre CAD systémy)

Financovanie:

NA

Referencie:

NA

1.3 Zlepšenie presnosti predikcie spotreby a výroby elektrickej energie pre účely optimalizácie energetickej bilancie prosumera

Pracovisko: Katedra elektroenergetiky a elektrických pohonov

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Využívanie obnoviteľných zdrojov energie a batériových systémov pre poskytovanie energetických služieb a optimalizáciu vlastnej spotreby

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

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2150

E-mail

peter.bracinik@uniza.sk

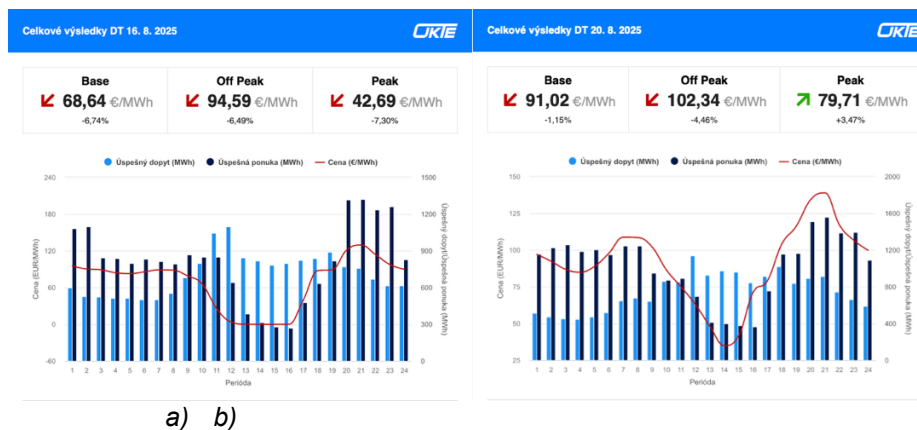
Web-stránka

keep.feit.uniza

Zlepšenie presnosti predikcie spotreby a výroby elektrickej energie pre účely optimalizácie energetickej bilancie prosumera

Opis projektu:

V súčasnosti neustále rastie požiadavka na dekarbonizáciu Európy [1], čo sa prejavuje už niekoľko rokov masívnym zavádzaním a implementáciou obnoviteľných zdrojov energie (OZE). Medzi preferované technológie OZE v rámci interkontinentálnej Európy a Slovenska patria predovšetkým fotovoltaické elektrárne (FVE). Ich zavádzanie bolo v minulosti podporované zo strany štátu, čo prispelo k nezdravej situácii na trhu s elektrinou, ktorá sa prejavuje najmä tým, že cena na dennom trhu s elektrinou sa výrazne mení v závislosti od počasia [2]. Čoraz viac pribúda dní, kedy cena na dennom trhu dosahuje nulovú a aj zápornú cenu (obr. 1a) a zároveň dochádza k veľkému rozdielu medzi cenou počas dňa a v ranných a večerných špičkách (obr. 1b).



Obr. 1. Ukážka rôznych priebehov priebehu ceny elektriny pre denný trh

Premenlivosť výstupného výkonu FVE a spomalený rozvoj budovania nových distribučných vedení či zvyšovania zaťažiteľnosti distribučných sietí viedli k tomu, že prevádzkovatelia distribučných sústav (PDS) sa čiastočne bránia inštalácii FVE do sústavy. Spôsobujú im totiž problémy pri dodržiavaní kvalitatívnych a technických aspektov dodávky elektriny pre odberateľov vyžadovaných legislatívou. Aby však nebol rozvoj OZE brzdený, povoľujú PDS inštaláciu tzv. lokálnych zdrojov energie, u ktorých sa vyžaduje, aby bol ich vyrábaný výkon spotrebovávaný lokálne v mieste ich inštalácie a nebol pretlačovaný do distribučnej siete.

Na strane druhej, situácia s vysokou cenou za elektrinu, ktorá tvorí podstatnú časť vstupných nákladov firiem, vytvára priestor pre rozumné využívanie FVE pre znižovanie vlastnej spotreby, a tým aj vstupných nákladov. Aby však bolo využívanie FVE nákladovo efektívne, je potrebné zvážiť, akým spôsobom môže prosumer (výrobca a zároveň spotrebiteľ elektriny) maximalizovať využívanie FVE pri znižovaní vlastných nákladov na elektrinu.

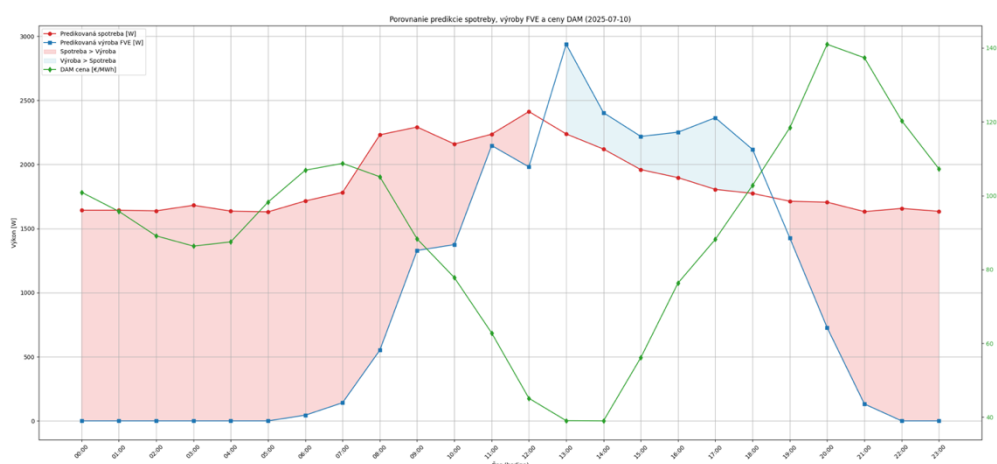
Vzhľadom na priebeh ceny na dennom trhu (obr. 1) sa ako vhodným riešením ukazuje použitie kombinácie FVE a batériového systému (BAT), vďaka ktorej je možné prebytok výroby vo FVE, resp. lacnú či zápornú elektrinu na dennom trhu použiť pre nabíjanie batériového systému a následne ju použiť počas ranných či večerných špičiek. Správne nadimenzovanie a prevádzkovanie FVE a BAT zároveň vytvárajú priestor pre optimalizáciu (zníženie) rezervovanej kapacity (RK) prosumera, za ktorú prosumer platí mesačný poplatok PDS. Ten už u stredne veľkých odberateľov predstavuje výrazný náklad za dodávku elektriny.

Správny odhad budúcej spotreby a lokálnej výroby prosumera je základom pre optimalizáciu energetickej bilancie prosumera, ktorá môže viesť ku zníženiu nákladov prosumera a tým aj k zlepšeniu jeho konkurencieschopnosti na trhu. Navyše sa tým aj posilní realizácia dekarbonizácie priemyslu.

V rámci výskumno-vývojových aktivít nášho výskumného tímu prebieha vývoj nástrojov, ktorých cieľom je analyzovať vybrané typy informácií, dať a podkladov a na ich znalosti predpovedať lokálnu výrobu a spotrebu prosumera. Táto znalosť sa následne využíva pre aktívne znížovanie či optimalizáciu vlastnej spotreby prosumera.

V rámci predchádzajúceho FEIT Intership projektu bola vyvinutá aplikácia, ktorá umožňuje automatizovane získavať a graficky interpretovať vzájomnú interakciu rôznych typov dát, ktoré majú vplyv na optimalizáciu energetickej bilancie prosumera (obr. 2). Patria medzi ne hlavne:

- predpoveď spotreby prosumera (červená čiara),
- predpoveď výroby v lokálnej FVE (modrá čiara),
- cena na dennom trhu (SPOT) (zelená čiara).

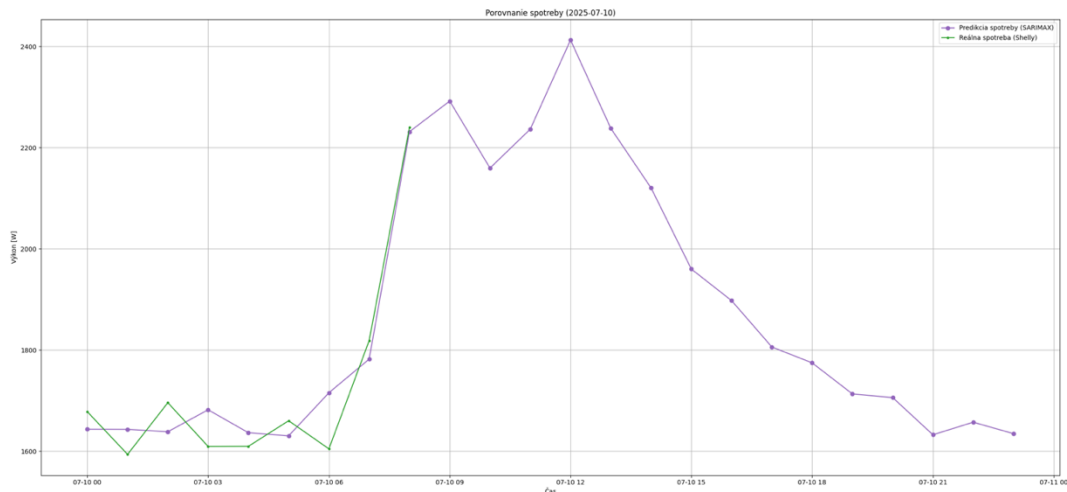


Obr. 2. Porovnanie predikovanej výroby a spotreby prosumera s vývojom ceny na SPOT-e

Z obr. 2 je zrejmé, že znalosť uvedených veličín je podkladom pre optimalizáciu a riadenie spotreby prosumera tak, aby:

- bolo maximalizované využívanie FVE a BAT,
- boli minimalizované náklady na nákup elektriny z distribučnej siete,
- bola optimalizovaná (znížená) hodnota rezervovanej kapacity prosumera a zároveň nebola prekračovaná jej hodnota počas prevádzky (vyhnutie sa penalizačným platbám).

Samotná predikcia spotreby a výroby prosumera sa dá využiť v dvoch krokoch. Pri príprave prevádzky prosumera na deň vopred (obr. 2) a pri optimalizácii prevádzky prosumera v daný deň. Pre tento účel je však potrebné vyhodnocovať rozdiel medzi predikovanými hodnotami a reálne meranými hodnotami (obr. 3), ktorý predstavuje jeden zo základných vstupných parametrov optimalizačného algoritmu pre riadenie energetickej bilancie prosumera na kratšie časové obdobie (15 min – 3 hodiny vopred).



Obr. 3. Porovnanie predikovanej a reálnej spotreby prosumera

Čím je predikcia presnejšia, tým je presnejšia aj optimalizácia výkonovej bilancie prosumera a tým sú nižšie jeho náklady na elektrinu. V aktuálne vyvinutej aplikácii je pre predikciu budúcich hodnôt spotreby na deň vopred použitý model SARIMAX. Ten má však svoje obmedzenia, ktoré je možné prekonať použitím vhodnejšieho predikčného algoritmu, akým sú napríklad neurónové siete. Ako vhodným nástrojom sa ukazuje použitie GRU (Gated Recurrent Unit) rekurentných neurónových sietí, ktoré sú určené pre predikciu časových radov a nemajú vysoké požiadavky na výpočtový výkon [3], [4].

Ciele projektu:

Cieľom predkladaného projektu je do vyvinutej aplikácie pre predikciu spotreby a výroby prosumera implementovať v jazyku Python predikciu uvedených parametrov pomocou GRU neurónovej siete. Samotná implementácia musí umožňovať použitie GRU v dvoch samostatných krokoch:

- predikcia potrebných veličín na deň vopred (pre prípravu prevádzky – obr. 2),
- predikcia potrebných veličín v daný deň na časový krok 15 min až 3 hodiny (pre optimalizáciu prevádzky v daný deň).

To poskytne členom výskumného tímu lepšiu spätnú väzbu pri vývoji optimalizačných nástrojov pre riadenie energetickej bilancie prosumera. Výstupy výskumnej stáže budú použité pri aktuálnom výskume pre priemyselného partnera.

Metodológia projektu:

Od študenta sa očakáva, že počas stáže sa bude venovať nasledovným oblastiam:

- určenie potrebného počtu vstupov pre definovanie datasetu pre GRU neurónovú sieť (NN),
- výber vhodného prístupu normalizácie dát,
- definovanie architektúry modelu NN (počet neurónov v GRU, počet vrstiev, dense vrstva, pridanie Dropout pre reguláciu a zníženie pretrénovania),
- tréning NN – nastavenie učenia: - learning rate, stratová funkcia (napr. MSE alebo MAE) a optimalizátor (napr. Adam alebo RMSprop),
- tréning NN – režim samotného učenia: určenie počtu epoch, určenie Batch size (ovplyvňuje konvergenciu),
- spresnenie krátkodobej predikcie použitím teacher forcing,
- zváženie doplnenia ďalších vhodných vstupných dát pre zlepšenie predikcie, no pri zachovaní rozumného výpočtového času.
- Všetky uvedené činnosti budú implementované do existujúcej grafickej aplikácie vytvorenej v jazyku Python.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- znalosť elektroenergetiky,
- znalosť jazyka Python a práce s balíčkami,

- skúsenosť so spracovaním dát popisujúcich odberový diagram odberateľa elektriny,
- skúsenosť so spracovaním dát umožňujúcich predpoved' výkonu vyrábaného v lokálnom zdroji energie (hlavne FVE),
- skúsenosť zo získavaním dát o cene elektriny na dennom trhu,
- schopnosť si naštudovať problematiku používania neurónových sietí,
- kreativita, samostatnosť a odhodlanie učiť sa nové veci.

Financovanie:

NA

Referencie:

- [1] *The European Green Deal*, dostupné online: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- [2] *Celkové výsledky DT*, dostupné online: <https://okte.sk/sk/kratkodoby-trh/zverejnenie-udajov-dt/celkove-vysledky-dt/>
- [3] Nosouhlan, S., Nosouhlan, F., Khoshouel, A.K.: *A Review of Recurrent Neural Network Architecture for Sequence Learning: Comparison between LSTM and GRU*, 2021, DOI: [10.20944/preprints202107.0252.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202107.0252.v1)
- [4] Lawrynczuk, M., Zarzycki, K.: *LSTM and GRU type recurrent neural networks in model predictive control: A Review*, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2025.129712>

1.4 Kompozitný obal pre batériový modul

Pracovisko: Katedra fyziky

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Progresívne materiály a polovodičové integrované technológie

Vedúci projektu: prof. RNDr. Jozef Kúdelčík, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2310

E-mail

jozef.kudelicik@uniza.sk

Web-stránka

NA

Kompozitný obal pre batériový modul

Opis projektu:

Tento výskum rieši výzvu vývoja moderných zdrojov energie pre budúcu plne elektrickú leteckú dopravu. Táto výzva si vyžaduje zdroj energie s vysokou hustotou, ktorý je schopný zvládnuť značné odvody tepla, čo predstavuje vážny problém pre bezpečnú prevádzku lietadiel. Výskum sa zameriava na ľahké, tepelne vodivé puzdro batérie navrhnuté tak, aby zabezpečilo bezpečnú prevádzku batérií. Kľúčovou technológiou, ktorá sa vyvíja, je polymérny kompozit, ktorý kombinuje nízku hmotnosť, vysokú tepelnú vodivosť a cenovú dostupnosť. Predbežné výsledky naznačujú, že použitie kompozitov čiastočne rieši problém nízkej tepelnej vodivosti v polyuretánovej matrici. Navyše, vlastnosti polyuretánu ako nízka hmotnosť a izolačné schopnosti zostávajú do značnej miery nezmenené, čo podporuje hlavné výhody používania tohto materiálu.

Počas výskumu sa bude pracovať s nasledovnými materiálmi: Polyuretán (PUR) tu slúži ako matrica, pričom sa jedná o dvojzložkovú polyuretánovú živicu MAGMA BLUE N22 od spoločnosti VUKI a.s. [1]. Tento typ polyuretánu je špeciálne vyvinutý pre zalievanie batérií s elektrolytom a používa ho firma HE3DA [2]. Ako plnivá sa budú používať viaceré mikročastice:

Nitrid hliníka (AlN): známy svojou vysokou tepelnou vodivosťou a elektrickými izolačnými vlastnosťami s relatívne vysokou tepelnou vodivosťou až do 320 W/mK. Tepelná vodivosť polymérnych kompozitov s AlN sa očakáva v rozmedzí hodnôt od 0,2 W/mK až po viac ako 10 W/mK v závislosti od množstva plniva a jeho disperzie. AlN plnivá vykazujú dobrú kompatibilitu s rôznymi polymérnymi matricami a ich povrch sa dá funkčne upraviť na zlepšenie disperzie v polyméri, čo vedie k homogénny kompozitom s vylepšenými vlastnosťami.

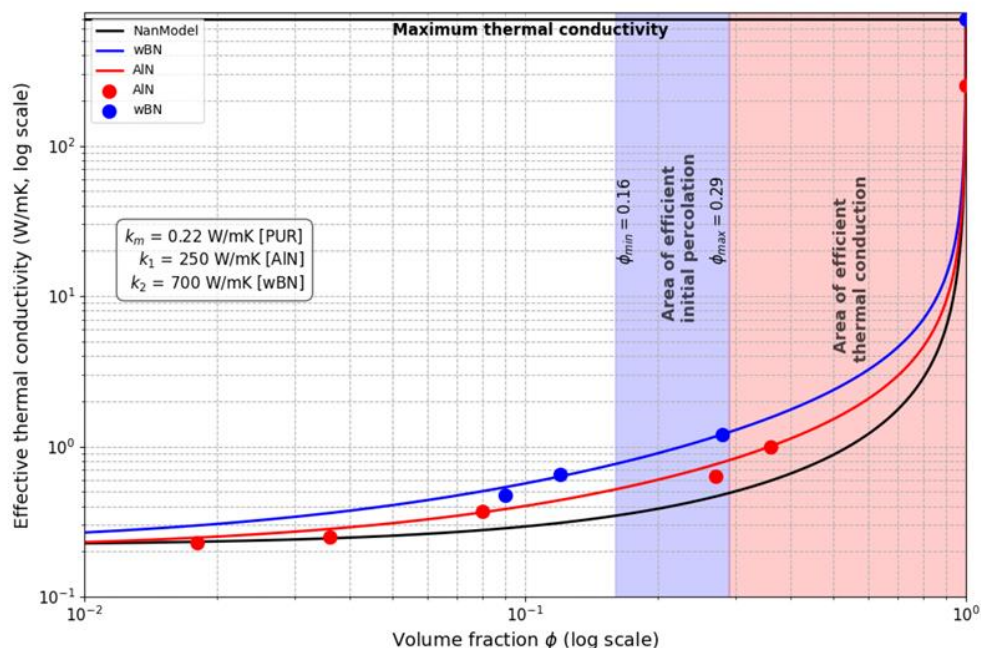
Hydroxid hliníka (Al(OH)₃): chemická štruktúra sa dobre kombinuje s polyuretánom kľúčovou vlastnosťou je jeho schopnosť tvoriť chemické väzby s polymérnou matricou v kompozitoch. Táto väzba je dôležitá, pretože môže pomôcť prekonať prirodzený perkolačný prah.

Bórny nitrid (BN): Zvlášť v jeho forme wurtzit (wBN) poskytuje vysokú tepelnú vodivosť a stabilitu pri zvýšených teplotách. Má vyššiu tepelnú vodivosť ako AlN, dosahujúcu až 750 W/mK. Hexagonálny nitrid bóru (h-BN) má tepelnú vodivosť podobnú grafénu, čo z neho robí vynikajúceho kandidáta pre aplikácie vyžadujúce efektívny odvod tepla. Mikroplnivá BN môžu výrazne zvýšiť tepelnú vodivosť kompozitných materiálov. Začlenenie mikroplniv BN do polymérov môže zlepšiť ich tepelnú vodivosť až na 20 W/m·K.

Ústredným parametrom ovplyvňujúcim výkonnosť kompozitných materiálov je prah perkolácie, ktorý definuje kritickú koncentráciu plniva, pri ktorej sa v polymérnej matrici vytvára súvislá vodivá alebo perkolačná sieť. Pod touto hranicou sú tepelné a dielektrické vlastnosti prevažne ovplyvnené individuálnymi príspevkami plnív a medzifázovými interakciami. Avšak ako sa obsah plniva blíži k prahu perkolácie alebo ho prekračuje, dochádza k významnému zlepšeniu tepelnej vodivosti a dielektrickej permitivity v dôsledku zlepšeného transportu fonónov a zvýšených polarizačných účinkov [3].

Výskum sa zameria na tepelné vlastnosti kompozitov obsahujúcich mikročastice AlN, Al(OH)₃ a wBN so zameraním na ich správanie v režimoch pred perkoláciou a v účinnej perkolácii. Pozorované trendy vykazujú silnú koreláciu s analytickými modelmi tepelnej vodivosti ako funkcie objemového podielu plniva (Obr. 1), čo poskytuje optimistický pohľad na výkonnosť materiálu. Tieto zistenia kladú

pevný základ pre vývoj rozsiahlych priemyselných aplikácií, najmä pre vysoko výkonné tepelne vodivé materiály v batériových systémoch novej generácie. Novou výzvou pre zvýšenie tepelnej vodivosti je kombinácia dvoch typov mikropŕnív a teda príprava úplne nových typov hybridných kompozitov. Predbežné výsledky a simulácie ponúkajú dostatočné predpoklady pre prípravu na báze našich pŕnív s cieľom preskúmať potenciálne synergické vylepšenia.



Obr. 1. Diagram závislosti efektívnej tepelnej vodivosti k_{eff} od objemového podielu ϕ . Čierna krivka bola vygenerovaná z Nan [4] modelu pre AlN pre porovnanie s červenou krivkou, predpovedanou na základe experimentálnych bodov (červená) získaných pre AlN. Modrá krivka bola predpovedaná na základe Nan modelu pre experimentálne body (modrá) pre wBN. k_m , k_1 a k_2 označujú tepelné vodivosti PUR, AlN a wBN [5].

Po príprave vhodného polyuretánového kompozitu sa budú realizovať adekvátne tepelné merania tepelného toku zaliatej batérie. Teplotné senzory budú zaliate v blízkosti batérie a pomocou nich sa budú merať zmeny teploty pri rôznych nabíjaciach a vybíjaciach prúdov. Prúdy budú na úrovni desiatok Ampér. Pri daných procesoch sa batéria veľmi zahrieva a je dôležité, aby teplota batéria nedosiahla teplotu 70 oC, nakoľko pri danej teplote sa môže zapáliť lítium, čo je extrémne nebezpečné. Z týchto meraní budeme vedieť aké sú maximálne prúdy, vhodný kompozit, koncentrácie či hybridná kombinácia.

Po zistení všetkých parametrov sa na základe dát a odpovedajúcich simulácií navrhnu vhodné moduly do ktorých sa budú môcť umiestniť viaceré batérie. Teplotné senzory sa umiestnia do vhodných pozícií a potom sa zaleje dané usporiadanie. Po vytvorení kompozitného batériového modulu so senzormi sa budú realizovať odpovedajúce merania. Namerané dáta sa porovnajú so simuláciami. Na základe porovnaní sa vyberie najlepší modul, prípadne jeho adekvátna úprava.

Ciele projektu:

Cieľom projektu ja pripraviť polymérny kompozit s mikročasticami s vysokou tepelnou vodivosťou a navrhnuť modul optimálne o 12 ks 3.7V batérií. Do polyuretánu sa budú primiešavať mikročastice AlN, Al(OH)₃, wBN a grafén. Príprava kompozitov s vysokou koncentráciou, ktorá prevyšuje 40 % a tiež hodnotu perkolácie je veľká výzva. V prípade vysokých koncentrácií je už problém zamiešania mikročastíc do polyuretánu. Problém vysokých koncentrácií je, že mikročastice sa musia najprv rozmiešať s vhodným solventom a potom pridať do polyuretánu. Bude treba nájsť správny solvent a ďalšie parametre miešania. Tiež výsledný kompozit musí byť kompaktný a nerozpadať sa. Analýza pripravených vzoriek bude realizovaná kolegami z katedry a iných pracovísk. V ďalšom kroku sa predpokladá realizácia hybridného kompozitu (polyuretán + 2 druhy mikročastíc). Hybridné kombinácie skúmaných mikropŕnív sa predpokladajú ako účinnejšie pri zvyšovaní tepelnej vodivosti polyuretánovej živice v porovnaní s jednozložkovými mikropŕnivami. Synergia medzi rôznymi mikropŕnivami by mala vytvoriť efektívnejšiu cestu pre vedenie tepla.

Po príprave vhodných kompozitov bude nasledovať meranie s jednou zaliatou baterkou a vhodne umiestnenými tepelnými senzormi. Bude sa používať batériový článok Tesla 4680. Pre každým zaliatím batérie sa spravia porovnávacie merania teplôt okolo batérie umiestnenej vo vzduchu pre

rôzne podmienky experimentu. V poslednom kroku sa pripraví batériový modul s hybridným kompozitom s vhodným počtom batérií. Vytvorená enkapsulácia batériových článkov s polyuretánovou živcou a hybridnými mikroplnivami by mal poskytovať dostatočné odvádzanie tepla a bezpečnú prevádzku bez straty účinnosti. Zvýšené riadenie tepla pomôže udržiavať optimálny výkon a dlhú životnosť batérií. Bude sa merať zmena teploty pri rôznych vysokých nabíjaciach a vybíjaciach prúdoch. Výsledky merania budú porovnávané so simuláciou, ktoré bude robiť doktorand.

Metodológia projektu:

- Oboznámenie sa s technológiou prípravy kompozitov
- Príprava rôznych kompozitov a hybridov v spolupráci s kolegami z katedry
- Optimalizácia parametrov prípravy kompozitov
- Návrh a optimalizácia modulu s teplotnými senzormi pre jednu a viacej bateriek
- Meranie zaliatej batérie s rôznymi kompozitami pri rôznych podmienkach
- Meranie batériových modulov s rôznymi kompozitami pri rôznych podmienkach

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Technická zručnosť a elektrotechnické znalosti
- Práca s prúdovými prístrojmi na nabíjanie a vybíjanie
- Základné znalosti z materiálov a technológií v elektrotechnike
- Spracovanie nameraných dát v grafickom programe
- Práca s modulom Arduino a programom MATLAB

Financovanie:

- APVV-21-0078 Výskum trvalo udržateľných živíc s vysokou účinnosťou a s použitím surovín z obnoviteľných zdrojov (07.2022 - 06.2026)
- VEGA 1/0622/24 Výskum a optimalizácia výboja pre nekonvenčné geotechnické vrtné systémy, (01/2024-12/2026)

Referencie:

- [1] VUKI a.s. VUKI Products. 2024. Available online: <https://www.vuki.sk/en/products>
- [2] <https://he3da.cz/>
- [3] Komarneni, S. Nanocomposites. Feature article. Nanocomposites, J. Mater. Chem. 1992, 2, 1219–1230, <http://dx.doi.org/10.1039/JM9920201219>
- [4] Bauhofer, W.; Kovacs, J.Z. A review and analysis of electrical percolation in carbon nanotube polymer composites. Compos. Sci. Technol. 2009, 69, 1486–1498. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.06.018>
- [5] Gunya, A.; Kúdelčík, J.; Hardoň, Š.; Janek, M. Thermoelectric Properties of Polyurethane Composites with Aluminium Nitride and Wurtzite Boron Nitride Microfillers: Analysis Below and near Percolation Threshold. Sensors 2025, 25, 4055. <https://doi.org/10.3390/s25134055>

1.5 Merací prípravok pre test dvojitého impulzom

Pracovisko: Katedra mechatroniky a elektroniky

Výskumná oblasť: Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Výkonová elektronika

Vedúci projektu: prof. Ing. Michal Frivaldský, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2050

E-mail

michal.frivaldsky@uniza.sk

Web-stránka

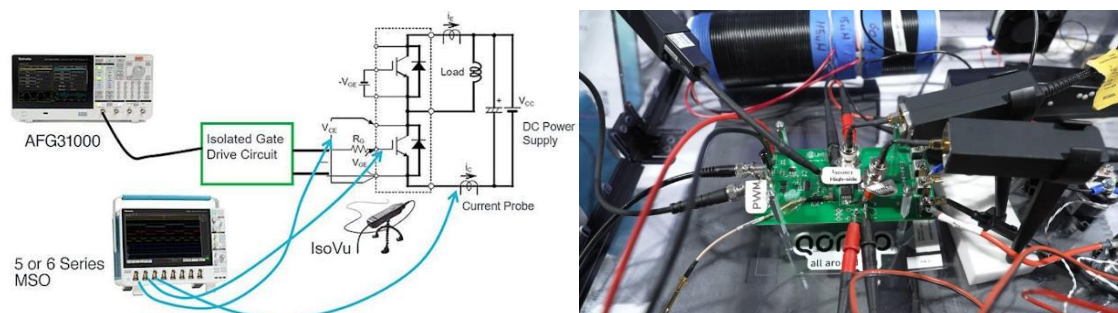
NA

Merací prípravok pre test dvojitého impulzom

Opis projektu:

Hlavným cieľom projektu je návrh, vývoj a realizácia meracieho prípravku pre vyhodnocovanie energetických strát výkonových polovodičových štruktúr, metódou testu dvojitého impulzom (TDI). V rámci riešenia tohto projektu bude potrebné realizovať analýzu súčasného stavu (SoA) testovania dvojitého impulzom, nakoľko výskum a vývoj progresívnych topologických riešení výkonových meničov, vyžaduje špecifické podmienky testu zohľadňujúce prevádzku súčiastok v podmienkach cieľovej aplikácie. Po zrealizovaní SoA, bude vzhľadom na cieľovú skupinu výkonových meničov, vypracovaná špecifikácia prevádzkových parametrov testovacieho zariadenia, schematické zapojenie, voľba obvodových prvkov, návrh dosiek plošných spojov, oživenie a otestovanie zariadenia.

Z hľadiska možnej kontinuity projektu, je možné komplexitu a funkcionality vyvinutého zariadenia unifikovať v rámci pokračovania intership stáže napr. zavedením metód virtuálnej instrumentácie, automatizovaného priebehu meraní a vyhodnocovaní a spracovaní získaných výsledkov z meraní.



Obr. 1. Ukážka schématického zapojenia TDI (vľavo) a praktické vyhotovenie prípravku (vpravo)

Ciele projektu:

Hlavný cieľ projektu:

- Pilotná verzia laboratórneho prípravku meracieho zariadenia pre test dvojitého impulzom

Čiastkové ciele projektu:

- Špecifikácia prevádzkových parametrov zariadenia vzhľadom na zvolenú aplikačnú oblasť – kritické posúdenie potreby.
- Návrh schém, voľba obvodových prvkov, výpočet komponentov.
review report No. 1
- Návrh dosiek plošných spojov, osadenie a oživenie jednotlivých súčastí.
- Implementácia budiaceho systému vzhľadom na priebeh a nastavenie parametrov dvojitého impulzu.
review report No. 2
- Oživenie laboratórneho prípravku a vypracovanie hodnotiacej správy z riešenia projektu.
review report No. 3

Metodológia projektu:

- Analýza súčasného stavu TDI.
prevádzkové podmienky
schématické zapojenia
fyzická realizácia – zohľadňujúc moderné trendy výroby súčiastok
- Návrh obvodových schém zariadenia.
schéma výkonového obvodu
schémy pomocných obvodov
- Návrh dosiek plošných spojov.
- Oživenie a otestovanie meracieho zariadenia

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Znalosť problematiky polovodičových súčiastok – dynamické charakteristiky
- Znalosť problematiky výkonových polovodičových meničov – základné obvodové topológie
- Znalosť softvérových programov
Eagle/KiCAD
OrCAD_Pspice/LTSpice
- Skúsenosti s vývojom elektronických zariadení – návrh DPS, otestovanie, oživenie
- Skúsenosti s laboratórnou a meracou technikou

Financovanie:

Optimalizácia merania prevádzkových parametrov výkonových polovodičových modulov vo výrobnom procese (APVV-24-0584)

Referencie:

- [1] https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Double_pulse_testing-Bodos_power_systems-Article-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d46271bf4f920171ee81ad6c4a1f
- [2] <https://www.keysight.com/used/us/en/knowledge/glossary/oscilloscopes/what-is-a-double-pulse-test>
- [3] <https://www.onsemi.com/download/eval-board-manual/pdf/evbum2897-d.pdf>

2 INFORMAČNÉ A KOMUNIKAČNÉ VEDY

2.1 Rušička odposluchu – návrh a realizácia zariadenia s využitím mikrokontroléra

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy

Špecifická oblasť výskumu: Digitálna transformácia a kybernetická bezpečnosť

Vedúci projektu: doc. Ing. Roman Jarina, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2213

E-mail

roman.jarina@uniza.sk

Web-stránka

kmikt.uniza.sk

Rušička odposluchu – návrh a realizácia zariadenia s využitím mikrokontroléra

Opis projektu:

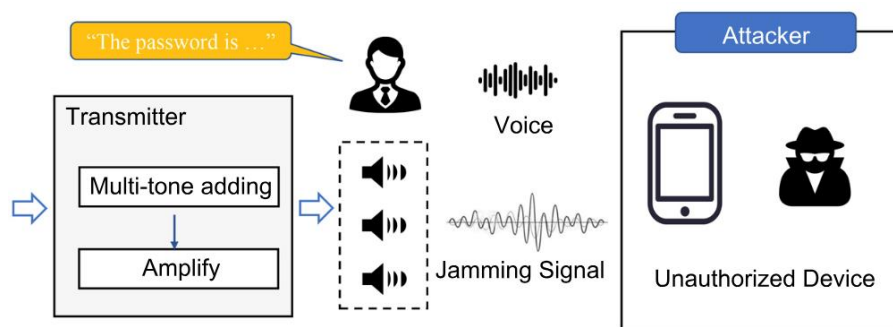
Projekt sa zameriava na výskum a vývoj technológie na ochranu akustického súkromia pomocou ultrazvukového rušenia akustických senzorov, akými sú napr. mikrofóny v smartfónoch. Cieľom študentskej stáže je návrh a overenie hardvérového (HW) riešenia generátora ultrazvukových signálov, založeného na jednoduskovom mikrokontroléri. Študent sa bude podieľať na výbere vhodných komponentov, návrhu zapojenia a implementácii riadiaceho softvéru (SW).

S rastúcim počtom inteligentných zariadení v našom okolí sa hranice medzi komfortom a bezpečnostným rizikom čoraz viac stierajú. Okrem softvérových hrozieb čelíme aj narastajúcim rizikám zo strany HW zariadení, ktoré môžu byť zneužívané na odpočúvanie a získavanie citlivých údajov. Práve preto vzniká potreba inovatívnych technických riešení, ktoré dokážu chrániť naše súkromie na fyzickej úrovni [1]. S popularitou inteligentných zariadení vybavených mikrofónmi (smartfón, hlasový asistent), veľmi výrazne narastá hrozba úniku dôležitých, citlivých alebo dôverných informácií cez akustickú modalitu. Často diskutovanou témou je neželaný odposluch prostredníctvom smartfónov a hlasových asistentov [2]. Aj na Slovensku sme svedkami mnohých afér úniku citlivých informácií práve utajeným odpočúvaním. Rečový signál nesie významné informácie nielen o obsahu rozhovoru ale tiež o identite osôb ako aj lokalizácii (najmä ak je prítomný aj zvuk pozadia) [1]. Akustické senzory, ako napríklad mikrofóny, môžu zachytávať zvukové informácie vrátane rozhovorov ľudí a ďalších zvukov v prostredí. Elektroakustické meniče pracujú na reciprokom princípe, preto napr. aj nenápadný reproduktor možno tiež využiť ako mikrofón a odpočúvať okolitý zvuk bez toho, aby si to ľudia všimli.

Jedným zo spôsobov, ako sa brániť tomuto nebezpečenstvu, je rušenie akustického signálu mikrofónu. V tomto kontexte najviac benefitov prinášajú ultrazvukové rušičky či už z hľadiska efektívnosti rušenia ako aj z hľadiska nepočuteľnosti rušiaceho signálu [3-5]. Tento spôsob rušenia využíva nelinearitu elektroakustického meniča pri snímaní signálov vysokej úrovne. Pri snímaní modulovaného ultrazvukového signálu vysokej intenzity (ktorý je pre človeka nepočuteľný), tento signál interferuje s rečovým signálom. Vplyvom nelinearity vznikajú subharmonické a kombináčnne frekvenčné zložky, ktoré sa nachádzajú v počutelnom spektre. Zároveň vplyvom vysokej intenzity akustickej vlny narastá aj vlastný šum meniča. Pri vhodnom nastavení frekvencie ultrazvukovej vlny a spôsobu modulácie rečový signál môže byť úplne zamaskovaný. Podrobný popis fyzikálnych princípov a riešení je napr. v [6].

Študent bude súčasťou projektového tímu, ktorý sa venuje vývoju a konštrukcii prototypu zariadenia, ktoré bude slúžiť ako ultrazvuková prenosná rušička mikrofónov audio zariadení – súčasťou vývoja je technický návrh obvodového riešenia, priebežné laboratórne testovanie účinnosti rušenia, výroba vrátane zapúzdrenia a dizajnového riešenia a následné testovanie funkčnej vzorky/prototypu zariadenia.

S cieľom dosiahnuť cenovo dostupné riešenie s nízkou spotrebou, bude systém využívať jednoduskový mikrokontrolér (ATtiny85, ATMEGA32U4, Arduino a pod.), ktorý bude riadiť programovateľný generátor ultrazvukového signálu po zosilnení privedený na pole elektroakustických meničov. Riešenie bude modulárne z možnosťou doplnenia IoT modulu pre diaľkové ovládanie zo smartfónu. Súčasťou vývoja je návrh HW a SW (programovanie mikrokontroléra, prípadne IoT modulu a používateľského rozhrania).



Obr.1 Koncepcia riešenia (podľa [5])

Aj keď takéto riešenia (využívajúce ultrazvuk) sú veľmi účinné, stále existuje niekoľko nedoriešených problémov: 1. Aká minimálna intenzita ultrazvukovej nosnej je potrebná na dosiahnutie nelineárneho efektu (v existujúcich riešeniach a komerčných zariadeniach nie je táto hodnota definovaná), 2. Ultrazvukové signály sa šíria úzkosmerovo a sú výrazne tlmené prostredím, preto priestorové usporiadanie ultrazvukových meničov je veľmi dôležité z hľadiska účinného rušenia celého priestoru. 3. Pri interakcii modulovanej ultrazvukovej nosnej s akustickým prostredím môže dochádzať k „samodemodulácii“ a vzniku nepríjemných akustických artefaktov v počuteľnom spektre. Preto súčasťou meraní a posudzovania funkčnosti navrhovaných riešení bude nielen účinnosť potlačenia zrozumiteľnosti reči, ale aj subjektívne hodnotenie kvality akustického prostredia z hľadiska vzniku nežiadúcich počuteľných artefaktov.

Ciele projektu:

Hlavné ciele výskumnej stáže možno sumarizovať nasledovne:

1. Navrhnuť a zostaviť HW riešenie s mikrokontrolérom, schopné generovať modulovaný ultrazvukový signál.
2. implementovať riadiaci SW pre ovládanie parametrov signálu (frekvencia, spôsob modulácie), s dôrazom na flexibilitu a možnosť budúceho rozšírenia,
3. otestovať funkčné zapojenie v laboratórnych podmienkach a skúmať odozvu mikrofónov na takýto signál.

Vedľajšie ciele:

4. Oboznámiť sa s fyzikálnymi vlastnosťami ultrazvukových vln, najmä v rozsahu blízko nad hranicou počutia, s dôrazom na ich interakciu s mikrofónmi; pochopenie nelineárnej odozvy mikrofónov na vysokoúrovňový signál, ktorá spôsobuje demoduláciu a „posun“ ultrazvuku do počuteľného pásma,
5. získať praktické skúsenosti s návrhom embedded systémov a ich využitím vo výskumnom kontexte,
6. získať skúsenosti s tímovou prácou vo výskumnom prostredí,
7. rozvíjať samostatnosť pri riešení technických problémov.

Metodológia projektu:

Študent bude súčasťou riešiteľského tímu KMIKT tvoreného najmä členmi laboratórií AUDIOlab, a PROTOTYPElab (Laboratórium vývoja prototypovej elektroniky a IoT senzorov). Laboratória obsahujú potrebnú infraštruktúru pre návrh a realizáciu zariadenia. Implementácia projektu bude prebiehať v úzkej spolupráci s firmou BrainIT.sk (odberateľ riešenia).

Riešenie celého projektu je rozdelené do niekoľkých etáp: 1. Návrh jednotlivých hardvérových komponentov rušičky podľa definovaných parametrov (mikrokontrolér, generátor signálov, zesilňovač signálu, ultrazvukové meniče, napájacie batérie, ostatné potrebné komponenty). 2. Ďalej bude potrebné vytvoriť skripty pre generovanie rôznych druhov rušiacich signálov pre zvolený druh mikrokontroléra. 3. Experimentálne merania – bude sa sledovať vplyv jednotlivých ultrazvukových signálov a ich kombinácií na úspešnosť rušenia mikrofónov. Pre praktické nasadenie bude vhodné testovať a overiť schopnosť rušenia pre čo najširšie množstvo používaných zvukových zariadení (smartfóny, zvukové záznamníky, hlasoví asistenti). 4. Výroba prototypu vrátane dizajnu celkovej konštrukcie.

Študent sa bude podieľať na riešení v rámci prvej a druhej etapy – návrh a prepojenie HW komponentov a oživenie zariadenia v blízkej súčinnosti s vedúcim projektu. Následne sa bude

venovať implementácii softvéru mikrokontroléra pre zvolené typy riadiacich signálov. V rámci 3. etapy sa bude podieľať na testovaní vytvoreného zariadenia (resp. zariadení - predpokladá sa porovnanie viacerých HW riešení realizovaných ďalšími členmi tímu). Študentovi bude tiež umožnené zúčastniť sa činností pri výrobe finálneho prototypu (návrh plošného spoja, osadenie, spájkovanie), návrhu a výrobe púzdra 3D tlačou.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Záujem o programovanie jednodoskových mikrokontrolérov (napr. arduino, IoT moduly). Vlastné skúsenosti v tejto oblasti sú vítané.
- Praktické zručnosti s realizáciou elektrických obvodov.
- Samostatnosť, analytické myslenie a schopnosť pracovať v tíme.

Financovanie:

Projekt: Vývoj ultrazvukovej rušičky mikrofónov prenosných audio zariadení, realizácia 9/2025-12/2025, Výzva IP_PTM_125, Zvýšenie Inovačnej výkonnosti slovenskej ekonomiky 2, Slovenská inovačná a energetická agentúra (SIEA). Zmluva o diele, UNIZA, BrainIT.sk.

Referencie:

- [1] Yang, Yanni, et al. "Privacy-preserving human activity sensing: A survey." High-Confidence Computing 4/1 (2024).
- [2] Huang, Wenbin, et al. "Manipulating voice assistants eavesdropping via inherent vulnerability unveiling in mobile systems." IEEE Trans. Mobile Computing 23/12, (2024).
- [3] Chen, Yike, et al. "Big brother is listening: An evaluation framework on ultrasonic microphone jammers." IEEE INFOCOM (2022).
- [4] Ma, Xiaosong, et al. "You can hear but you cannot record: Privacy protection by jamming audio recording." ICC 2021-IEEE Int. Conf. on Communications, (2021).
- [5] Han, Zhicheng, et al. "UltraJam: Ultrasonic adaptive jammer based on nonlinearity effect of microphone circuits." High-Confidence Computing 3.3 (2023): 100129.
- [6] Gao, Ming, et al. "A Resilience Evaluation Framework on Ultrasonic Microphone Jammers." IEEE Transactions on Mobile Computing 23.2 (2023): 1914-1929.

2.2 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

NA

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, predspracovanie, analýzu a interpretáciu dát prakticky v reálnom čase. So zvyšujúcimi sa požiadavkami na bezpečnosť, spoľahlivosť a efektívnosť 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 predspracovanie 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, a to 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 percepčnej 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.
- 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 computingu“ 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:

- Simeonov, R. a kol.: Rozvoj robustných lokalizačno-navigačných systémov pre autonómnú mobilitu s podporou komunikácie v náročných prostrediach, doktorandský projekt UNIZA , 01.10.2024 - 30.12.2025
- 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:

- [1] SAE, I. SAE J3016_202104.PDF. In SURFACE VEHICLE RECOMMENDED 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.]

2.3 Nástroj pre parsovanie obrazových informácií z webových stránok za účelom tvorby databáz

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	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2239	martina.radilova@uniza.sk	NA

Nástroj pre parsovanie obrazových informácií z webových stránok za účelom tvorby databáz

Opis projektu:

Internet sa v súčasnosti stal primárnym zdrojom informácií, ktoré sú prezentované nielen prostredníctvom textu, ale aj prostredníctvom obrazového materiálu. Obrázky, grafy, fotografie či infografiky predstavujú významný zdroj poznatkov, no ich systematické zhromažďovanie a štruktúrovanie je stále pomerne náročné. Väčšina webových stránok neposkytuje obrazové informácie v priamo použiteľnej štruktúrovanej podobe, čo obmedzuje ich využiteľnosť pri vedeckej práci, analýzach či komerčných aplikáciách.

Projekt „Nástroj pre parsovanie obrazových informácií z webových stránok za účelom tvorby databáz“ má za cieľ vyvinúť softvérový systém, ktorý umožní automatizovane extrahovať obrazové dáta z internetu, analyzovať ich obsah, spájať ich s dostupnými metaúdajmi a ukladať do databáz vhodných na ďalšie spracovanie.

Prínos takéhoto systému je viacerozmerný. V akademickej sfére môže slúžiť ako zdroj datasetov pre tréning strojového učenia a umelej inteligencie. V podnikateľskom prostredí zasa umožní sledovať vizuálne materiály konkurencie, zhromažďovať produktové fotografie alebo monitorovať značky a logá. V oblasti kultúrneho dedičstva môže byť nástroj využitý na digitalizáciu a systematizáciu obrazových zdrojov.

Hlavným cieľom projektu je vytvoriť robustný, škálovateľný a modulárny nástroj, ktorý bude spĺňať nasledujúce funkcie:

- **Automatické prehľadávanie webových stránok (web scraping)** na základe definovaných pravidiel.
- **Parsovanie a ukladanie obrazových súborov** rôznych formátov (JPEG, PNG, GIF, SVG).
- **Analýza obrazov.**
- **Rozpoznávanie objektov** v obrázkoch pomocou strojového videnia.
- **Ukladanie dát do databázy.**
- **Používateľské rozhranie** pre vizualizáciu, prehliadanie.

Výsledkom projektu bude funkčný prototyp softvéru, ktorý dokáže v reálnych podmienkach demonštrovať použiteľnosť pri tvorbe databáz založených na vizuálnych informáciách.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom projektu "Nástroj pre parsovanie obrazových informácií z webových stránok za účelom tvorby databáz" je vyvinúť robustný a užívateľsky prívetivý systém na efektívnu extrakciu a spracovanie obrazových dát z webových stránok. Tento nástroj by mal umožniť užívateľom získať relevantné obrazové informácie, ktoré môžu byť použité na analýzu, marketing alebo kreatívne projekty. Projekt sa zameriava na automatizáciu procesu zberu údajov, čo výrazne zníži časovú náročnosť a náklady spojené s manuálnym spracovaním obrazových materiálov.

Ďalším cieľom je sprístupniť užívateľom intuitívne rozhranie, ktoré im umožní jednoducho konfigurovať parametre scraping-u, ako sú konkrétne webové stránky alebo typy obrázkov. Taktiež je prioritou zabezpečenie kvality a konzistencie extrahovaných údajov. Nástroj bude zahrňovať moduly

na spracovanie obrázkov, ktoré umožnia optimalizáciu a analýzu obsahu (ako je rozpoznávanie objektov na obrázkov pomocou umelej inteligencie) ešte pred uložením do databázy.

Na záver sa projekt zameriava aj na etické aspekty web scrapovania, zabezpečujúc dodržiavanie právnych predpisov a ochranu osobných údajov. Tento komplexný prístup k projektu zabezpečí, že nástroj nielen splní technologické potreby, ale aj prispôsobí sa etickým a legislatívnym normám platným v oblasti správy dát.

Metodológia projektu:

Metodologický postup bude pozostávať z nasledujúcich fáz:

Fáza 1: Analýza požiadaviek

Na začiatku bude vypracovaná detailná analýza potrieb používateľov. Identifikujú sa oblasti využitia, definujú sa typy dát, ktoré budú spracovávané, a špecifikujú sa požiadavky na databázovú štruktúru. Súčasťou tejto fázy bude aj štúdium legislatívnych obmedzení, najmä v súvislosti s autorským právom a spracovaním obsahu z webových stránok.

Fáza 2: Návrh architektúry systému

Architektúra bude navrhnutá modulárne. Web scraping modul bude zodpovedný za získavanie dát, modul na spracovanie obrázkov za technickú analýzu obrazových súborov a analytický modul za pokročilú interpretáciu obsahu (rozpoznávanie objektov). Databázová vrstva bude pozostávať z databázy pre uloženie dát.

Fáza 3: Implementácia

Implementácia bude realizovaná v jazyku Python s využitím knižníc ako BeautifulSoup alebo Scrapy pre web scraping, OpenCV a Pillow pre spracovanie obrazu, a pre identifikáciu objektov konvolučné neurónové siete.

Fáza 4: Testovanie

Systém bude testovaný na vzorke reálnych webových stránok. Overí sa, ako presne dokáže rozpoznať objekty, aká je úspešnosť pri odstraňovaní duplicitných obrázkov.

Fáza 5: Validácia a dokumentácia

Po úspešnom testovaní budú výsledky porovnané s existujúcimi riešeniami a vyhodnotí sa, či nástroj spĺňa požiadavky definované v úvodnej fáze. Súčasťou výstupu bude aj používateľská a technická dokumentácia.

Fáza 6: Budúci rozvoj

Záverečná fáza zahŕňa prípravu systému na rozširovanie nových funkcionalít pre rôzne účely využitia

Požadované kvality/znalosti študenta:

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

- Programovanie v jazyku Python vrátane práce s knižnicami pre web scraping (BeautifulSoup, Scrapy) a spracovanie obrazu (OpenCV, Pillow).
- Základy databázových systémov a schopnosť navrhnuť databázovú schému.
- Znalosti z oblasti strojového učenia a počítačového videnia, najmä využitie neurónových sietí.
- Práca s OCR technológiami (Tesseract OCR, prípadne Google Vision API).
- Znalosti webových technológií pre tvorbu jednoduchého používateľského rozhrania (HTML, CSS, JavaScript).

Požadované vlastnosti:

- Analytické myslenie a schopnosť identifikovať vzory v dátach.
- Samostatnosť pri riešení úloh, schopnosť rýchlo si naštudovať nové technológie.
- Zodpovednosť a presnosť, keďže práca s veľkým objemom dát si vyžaduje disciplinovaný prístup.
- Tvorivosť, ktorá je potrebná pri navrhovaní algoritmov a optimalizácií.

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

Financovanie:

Projekt v súčasnosti nedisponuje pridelenými finančnými zdrojmi. Realizácia je postavená na využívaní voľne dostupných softvérových nástrojov (open-source knižnice ako OpenCV, TensorFlow, Tesseract OCR), osobného hardvéru študenta a infraštruktúry poskytovanej univerzitou (počítačové laboratória, prístup k databázam).

V prípade budúcej expanzie alebo nasadenia do praxe by projekt mohol byť financovaný prostredníctvom univerzitných grantových schém, európskych výskumných programov alebo komerčných partnerstiev.

Referencie:

- [1] ZHANG, X., LIN, Y. a CHEN, H., 2023. A survey on web scraping and its applications in data science. *Journal of Big Data*. 10(1), s. 45–63. ISSN 2196-1115.
- [2] KAUR, G. a SINGH, M., 2022. Advances in Optical Character Recognition using Deep Learning. *Pattern Recognition Letters*. 162, s. 15–28. ISSN 0167-8655.
- [3] GUPTA, R. a SHARMA, V., 2021. Image scraping and analysis for e-commerce intelligence. *International Journal of Information Management*. 57, 102345. ISSN 0268-4012.
- [4] OPENCV FOUNDATION, 2020. OpenCV 4.x Documentation. [online]. Dostupné z: <https://docs.opencv.org/>
- [5] GOODFELLOW, I., BENGIO, Y. a COURVILLE, A., 2020. *Deep Learning for Computer Vision*. Cambridge: MIT Press. ISBN 978-0262035613.
- [6] LI, H. a kol., 2025. Dolphin: Document Image Parsing via Heterogeneous Anchor Prompting. *arXiv preprint*. [online]. Dostupné z: <https://arxiv.org/abs/2505.14059>
- [7] KIM, S. a kol., 2025. PreP-OCR: A Complete Pipeline for Document Image Restoration and Enhanced OCR Accuracy. *arXiv preprint*. [online]. Dostupné z: <https://arxiv.org/abs/2505.20429>
- [8] WANG, Y. a kol., 2024. InstructOCR: Instruction Boosting Scene Text Spotting. *arXiv preprint*. [online]. Dostupné z: <https://arxiv.org/abs/2412.15523>
- [9] FERREIRA, L. a kol., 2024. A Filtering and Image Preparation Approach to Enhance OCR for Fiscal Receipts. *SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images*. [online]. Dostupné z: https://github.com/MaVILab-UFV/Filtering-Preparation-for-OCR_SIBGRAPI-2024
- [10] KHANDELWAL, R. a kol., 2024. Advanced Automated Document Processing Using OCR. *International Conference on Intelligent and Innovative Computing Technologies (I2CT)*. [online]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/381328724>
- [11] SINGH, A. a kol., 2024. Image Text Detection and Documentation Using OCR. *International Conference on Sustainable Smart Emerging Engineering Concepts and Communication (ICSSECC)*. [online]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/383708812>
- [12] RATHORE, P. a kol., 2024. A Comprehensive Survey of Advanced Image Processing and OCR Techniques for Enhanced Image Plagiarism Detection. *International Journal of Computer Applications*. [online]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/381558456>
- [13] SCRAPEHERO, 2025. Web Scraping Industry in 2025 — 5 Trends You Can't Ignore. [online]. Dostupné z: <https://www.scrapehero.com/web-scraping-industry-in-2025-5-trends-you-cant-ignore/>
- [14] SCRAPELESS, 2025. Five Key Trends Shaping the Web Scraping Industry in 2025. [online]. Dostupné z: <https://www.scrapeless.com/en/blog/scraping-5-trends-2025>
- [15] DATAFUEL, 2025. AI-Powered Web Scraping: The 2025 Revolution. [online]. Dostupné z: https://www.datafuel.dev/blog/ai-powered_web_scraping_the_2025_revolution

2.4 Fotonické integrované zariadenia na platforme oxidu gália

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy a Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Integrovaná fotonika

Vedúci projektu: Ing. Michaela Holá, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2202

E-mail

michaela.hola@uniza.sk

Web-stránka

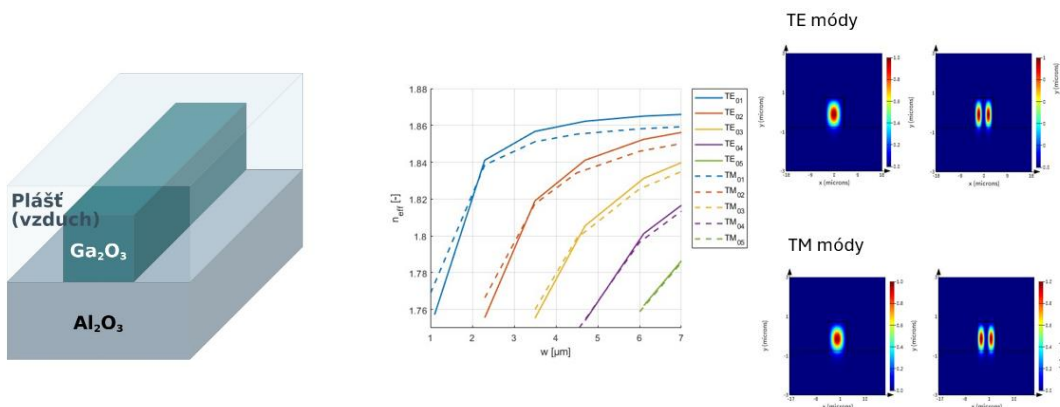
<https://optolab.feit.uniza.sk/>

Fotonické integrované zariadenia na platforme oxidu gália

Opis projektu:

Integrovaná fotonika predstavuje jednu z najprogresívnejších technologických platforiem súčasnosti, ponúkajúcu široké spektrum nových príležitostí pre miniaturizáciu, efektívnu integráciu a technologický rozvoj v oblasti informačných a komunikačných technológií. Potenciál integrovanej fotoniky presahuje rámec klasickej optiky a optoelektroniky, a zároveň ponúka cestu k realizácii novej generácie polovodičových obvodov, ktoré nachádzajú uplatnenie v dátových centrách, vysokokapacitných telekomunikačných sieťach, výpočtových serveroch, senzorických platformách či kvantových technológiách. Na rozdiel od tradičnej technológie optických vlákien, ktorá je dominantná v chrbticových a prístupových sieťach, integrovaná fotonika využíva vlnovody s vyšším indexom lomu. To umožňuje vývoj kompaktných, vysokovýkonných a presne definovaných zariadení. Ich výroba je kompatibilná so štandardnými procesmi mikro- a nanoelektronického priemyslu, čím sa otvára priestor pre masovú produkciu, škálovateľnosť a ekonomickú dostupnosť riešení. Pre efektívny rozvoj tejto technológie je však nevyhnutné zamerať sa nielen na integráciu jednotlivých komponentov, ale aj na optimálny návrh fundamentálnych komponentov fotonických integrovaných obvodov pre rôzne vlnové pásma. Moderné aplikácie kladú dôraz na multifunkčnosť a širokopásmovosť vlnovodov a zariadení, čím sa podporuje vysoká miera integrácie a flexibilita fungovania.

Z pohľadu budúcich fotonických systémov sa preto ako kľúčový trend ukazuje vývoj multifunkčných zariadení novej generácie, ktoré dokážu prepájať nízku spotrebu energie, zvýšenú prenosovú kapacitu a univerzálnosť prevádzky. Tieto riešenia otvárajú cestu k novým architektúram pre energeticky efektívne komunikačné platformy, výpočtové siete či senzorické a kvantové aplikácie, čím sa integrovaná fotonika stáva jedným zo základných pilierov technologickej transformácie (1). Významnú úlohu v ďalšom rozvoji integrovanej fotoniky zohrávajú nové materiálové platformy, medzi ktorými osobitné postavenie získava oxid gália (Ga_2O_3) vďaka svojmu širokému zakázanému pásmu ($\approx 4,5 - 5,0$ eV), vysokej transparentnosti v ultrafialovej a viditeľnej oblasti spektra, nízkym optickým stratám, výnimočnej tepelnej a chemickej stabilite a odolnosti voči žiareniu. V porovnaní so štandardne využívanými materiálmi, ako kremík (Si) a nitrid kremíka (Si_3N_4), ktoré sú obmedzené na infračervenú oblasť a menej odolné voči vysokým intenzitám žiarenia, ponúka Ga_2O_3 efektívnu prevádzku aj v UV a viditeľnom spektre. Na rozdiel od nitridu gália (GaN), ktorý síce disponuje podobne širokým zakázaným pásmom, avšak trpí limitovanou dostupnosťou veľkých a kvalitných monokryštálových substrátov, je Ga_2O_3 vďaka moderným technológiám rastu (napr. EFG, halogenidová transportná depozícia) dostupný vo forme veľkoplošných substrátov umožňujúcich integráciu rozsiahlych fotonických štruktúr. Tieto vlastnosti robia z Ga_2O_3 perspektívny materiál pre vývoj integrovaných fotonických čipov schopných pracovať v náročných podmienkach a v nových spektrálnych oblastiach, pričom umožňuje miniaturizáciu komponentov, rozšírenie aplikačných možností v senzorike, optoelektronike a kvantových technológiách a tvorbu multifunkčných a vysoko odolných fotonických systémov budúcnosti [2–5].



Obrázok 1. Analýza módov Ga_2O_3 vlnovodu na zařirovom substráte

Výskum v oblasti oxidu gália (Ga_2O_3) potvrdzuje, že tento materiál predstavuje mimoriadne perspektívnu fotonickú platformu s unikátnymi vlastnosťami, ktoré presahujú možnosti dnes bežne využívaných materiálov. Najnovšie trendy smerujú k jeho využitiu nielen v pasívnych vlnovodových štruktúrach s nízkymi stratami, ale aj v pokročilých integrovaných zariadeniach, ako sú vysoko-Q rezonátory, fotodetektory pre UV a viditeľnú oblasť či komponenty založené na nelineárnych optických javoch, ktoré umožňujú generáciu vyšších harmonických, konverziu vlnových dĺžok alebo optické spínanie. Vďaka priaznivým parametrom v UV–VIS oblasti, vysokej odolnosti voči žiareniu a možnosti kombinácie s etablovanými kremíkovými a nitridovými technológiami sa Ga_2O_3 stáva atraktívnym kandidátom pre hybridné integrované platformy. Tieto výskumné aktivity naznačujú, že Ga_2O_3 má potenciál zásadne prispieť k rozvoju novej generácie fotonických integrovaných obvodov, ktoré sa vyznačujú nízkou stratovosťou, vysokou spektrálnou flexibilitou, odolnosťou voči extrémnym podmienkam a rozšírenými funkčnými možnosťami v oblasti senzoriky, optoelektroniky a kvantových technológií [2–5].

Ciele projektu:

Cieľom projektu je štúdium materiálovej platformy oxidu gália (Ga_2O_3) pre vývoj novej generácie fotonických integrovaných zariadení pre rozličné vlnové pásma prostredníctvom numerických simulácií. Špecifické ciele projektu sú:

- vývoj škálovateľných a verzatilných modelovacích prístupov pre návrh optických vlnovodov
- návrh jedno- a mnoho-módových optických vlnovodov
- analýza navrhnutých optických vlnovodov: disperzné, teplotné, a módové charakteristiky
- návrh optických adiabatických prechodov pre prepojenie rozličných vlnovodových štruktúr

Projekt internej výskumnej stáže môže pokračovať ako rozšírená verzia diplomovej práce.

Metodológia projektu:

- 1) Štúdium literatúry optických vlnovodov a zoznámenie sa so simulačnými nástrojmi
- 2) Návrh optických vlnovodov prostredníctvom analytických a numerických metód
- 3) Implementácia metódy efektívneho indexu lomu pri návrhu vlnovodov
- 4) Rigorózný návrh optických vlnovodov s využitím Ansys Lumerical

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.

2.5 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

NA

Výskum odolnosti systémov GNSS voči rušeniu

Opis projektu:

Globálne navigačné satelitné systémy GNSS (Global Navigation Satellite System), najmä GPS (Global Positioning System), sa stali neoddeliteľnou súčasťou mnohých oblastí našich životov. Okrem navigácie sa GPS signály využívajú aj na časovú synchronizáciu v rôznych aplikáciách, ako sú bezdrôtové siete, pevné telekomunikačné siete, dopravné systémy a finančné transakcie.

V DVB-T SFN (Single Frequency Network) sieťach je precízna časová synchronizácia vysielačov nevyhnutná pre zabezpečenie kvalitného prenosu signálu. Ak by synchronizácia nebola dostatočne presná, mohlo by dochádzať k interferencii medzi vysielačmi, čo by viedlo k degradácii prijímaného signálu, čo by mohlo negatívne ovplyvniť funkčnosť tejto kritickej infraštruktúry [1].

V posledných rokoch sa však objavil vážny problém - rušenie a spoofing GPS signálov [2]. Rušenie môže spôsobiť zvyšovanie chybovosti prijímaných GPS signálov alebo ich kompletnú stratu, čo vedie k vážnym následkom pre systémy vyžadujúce presnú časovú synchronizáciu, ktorá je primárne realizovaná pomocou GPS signálov. Preto je dôležité hľadať riešenia, ktoré efektívne detegujú interferencie alebo ich dokonca dokážu potlačiť [3].

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 [4]. Stáž poskytne študentovi možnosť zapojiť sa do aktuálneho výskumu v oblasti rádiových komunikačných systémov, softvérového 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:

- Štúdium aktuálnej literatúry a existujúcich riešení na detekciu rušenia a spoofingu GPS signálov.
- Zoznámenie sa s príslušným SDR prijímačom.
- Analýza typov interferencií a ich vplyvu na časovú synchronizáciu.
- Testovanie vplyvu rušenia a spoofingu na systémy založené na GPS s využitím SDR.

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:

- Prehľad o existujúcich detekčných a ochranných mechanizmoch proti rušeniu a spoofingu.
- Analýza možností simulácie a zberu dát potrebných pre detekciu interferencie systému GPS.
- Návrh a testovanie metód vhodných pre detekciu interferenčných signálov rušiacich systém GPS.

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.

Štúdium a analýza literatúry

- Získanie prehľadu o existujúcich riešeniach na detekciu interferencií GPS signálov.
- Identifikácia kľúčových metód a algoritmov využívaných v oblasti spracovania signálov.

Analýza vplyvu rušenia

- Vytvorenie prostredia na testovanie rušenia a spoofingu GPS signálov.
- Testovanie rôznych typov interferencií.
- Návrh metód na detekciu interferencií na základe teoretických poznatkov.

Experimentálne merania a testovanie s využitím unikátnej technológie Spirent GSS7000

- Implementácia a testovanie vybraných metód na identifikáciu interferencií.
- Použitie softvérovo definovaných rádiových prijímačov na analýzu reálnych GPS signálov.
- 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 rádiovej 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] Machaj, J., Brida, P., Majer, N., & Sčehovič, R. (2021). Impact of GPS Interference on Time Synchronization of DVB-T Transmitters. *Mobile Information Systems*, 2021(1), 8812333.
- [2] Li, X., Chen, L., Lu, Z., Wang, F., Liu, W., Xiao, W., & Liu, P. (2023). Overview of jamming technology for satellite navigation. *Machines*, 11(7), 768.
- [3] Pirayesh, H., & Zeng, H. (2022). Jamming attacks and anti-jamming strategies in wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 24(2), 767-809.
- [4] 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.

2.6 Testovanie a metrológia prenosových parametrov optických komunikačných systémov

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy a Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Opto-vláknové komunikačné systémy

Vedúci projektu: Ing. Jozef Dubovan, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2219

E-mail

jozef.dubovan@uniza.sk

Web-stránka

<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.



Obr. 1. Experimentálna meracia platforma pre optické komunikačné systémy.

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.

Ciele projektu:

Hlavným cieľom projektu internej výskumnej stáže je návrh testovacích metodík pre meranie prenosových parametrov v optických komunikačných sieťach

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

- vložné straty,
- chromatická disperzia,
- polarizačná módomá 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 vysokorychlostných 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 dlhodobšie 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 módomovej disperzie a polarizačne závislých strát, ktoré sú kľúčové pre vysokorychlostné 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 Využitie generatívnych adverzariálnych sietí pri návrhu fotonických integrovaných zariadení

Pracovisko: Katedra multimédií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy

Špecifická oblasť výskumu: Strojové učenie a integrovaná fotonika

Vedúci projektu: Ing. Maroš Jakubec, PhD.

Kontaktné údaje:	Telefón	E-mail	Web-stránka
	+421 41 513 2268	maros.jakubec@uniza.sk	NA

Využitie generatívnych adverzariálnych sietí pri návrhu fotonických integrovaných zariadení

Opis projektu:

Návrh fotonických integrovaných zariadení je kľúčovou oblasťou záujmu pre rozvoj moderných optických komunikačných technológií, senzorických systémov alebo platforiem pre kvantové spracovanie informácie. Tradičný proces rozličných fotonických integrovaných zariadení sa opiera o využitie analytických alebo numerické simulácií riešiacich rovnice elektromagnetického poľa. Medzi najviac využívané metódy patria: FDTD (Finite-Difference Time-Domain), FEM (Finite Element Method), FDE (Finite Difference Method) alebo BPM (Beam Propagation Method). Tieto numerické metódy a simulačné nástroje umožňujú presné modelovanie a poskytujú vysokú mieru presnosti. Na druhej strane, ich hlavnou nevýhodou je výrazná časová a výpočtová náročnosť pri riešení problému, čo celý návrh fotonických integrovaných zariadení komplikuje a predlžuje vývojový cyklus. Pri návrhu komplexných fotonických štruktúr, akými sú sub-vlnové mriežky, metamateriálové komponenty, viacvrstvové väzobné členy alebo výkonnové deliče a spektrálne filtre, sa tak stáva prehľadávanie celého priestoru návrhu zariadení prakticky nemožné.

S rastúcimi požiadavkami na výkon, flexibilitu, škálovateľnosť a miniaturizáciu fotonických integrovaných zariadení sa preto čoraz viac dostáva do popredia potreba nových, inteligentných optimalizačných prístupov založených na umelej inteligencii a strojovom učení. Cieľom tohto prístupu je umožniť nielen rýchlejšiu tvorbu návrhov rozličných zariadení a komponentov, ale aj objavovanie inovatívnych geometrií, ktoré by klasickými metódami ostali nepovšimnuté.

Momentálne existuje niekoľko sľubných prístupov pre riešenie tohto problému. Jedným z najslubnejších prístupov je využitie generatívnych adverzariálnych sietí (Generative Adversarial Networks, GANs). Tieto moderné architektúry strojového učenia sa pôvodne presadili pri generovaní realistických obrazov či dátových štruktúr. V kontexte integrovanej fotoniky, otvárajú tieto siete nové možnosti pre automatizovaný návrh integrovaných zariadení. GANs dokážu na základe tréningovej množiny existujúcich návrhov zariadení alebo dostupných simulačných dát generovať nové varianty štruktúr, pričom ich výkonnosť je možné podmieniť konkrétnymi cieľovými parametrami, akými sú vložné straty, šírka spektrálneho pásma alebo robustnosť voči technologickým variáciám. Tento prístup pre riešenie komplexných elektromagnetických úloh predstavuje zásadný krok smerom k vylepšeným návrhom založeným na umelej inteligencii, t.j. od manuálnej a časovo náročnej optimalizácie k automatizovanému a dátovo orientovanému vývojovému procesu. Využitie GAN v návrhu fotonických integrovaných zariadení a komponentov tak môže výrazne urýchliť inovačný cyklus, znížiť náklady na výpočty a priniesť neštandardné riešenia s vysokým vedecko-výskumným a 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 dlhodobšie 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] J. Jiang, M. Chen & J. A. Fan, "Deep neural networks for the evaluation and design of photonic devices" *Nature Reviews Materials* volume 6, pages679–700 (2021).
- [2] W. Ma, Z. Liu, Z. A. Kudyshev, A. Boltasseva, W. Cai & Y. Liu, "Deep learning for the design of photonic structures" *Nature Photonics* volume 15, pages77–90 (2021).
- [3] C. Zuo, J. Qian, S. Feng, W. Yin, Y. Li, P. Fan, J. Han, K. Qian & Q. Chen, "Deep learning in optical metrology: a review" *Light: Science & Applications* volume 11, Article number: 39 (2022).
- [4] J. Qiu, G. Lu, T. Liu, D. Zhang, S. Xiao & T. Yu, "Optoelectronic generative adversarial networks", *Communications Physics* volume 8, Article number: 162 (2025).
- [5] Z. Li, Z. Zhou, C. Qiu, Y. Chen, B. Liang, Y. Wang, L. Liang, Y. Lei, Y. Song, P. Jia, Y. Zeng, L. Qin, Y. Ning, L. Wang, "The Intelligent Design of Silicon Photonic Devices", *Advanced Optical Materials* Volume12, Issue7 March 5, 2024.
- [6] X. Xu, Y. Li, L. Du and W. Huang, "Inverse Design of Nanophotonic Devices Using Generative Adversarial Networks with the Sim-NN Model and Self-Attention Mechanism" *Micromachines* 2023, 14(3), 634.

2.8 Fotonické integrované zariadenia na platforme nitridov kremíka pre kvantové aplikácie a integráciu laserov

Pracovisko: Katedra telekomunikácií a informačno-komunikačných technológií

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy a Elektrotechnické vedy

Špecifická oblasť výskumu: Integrovaná fotonika

Vedúci projektu: Ing. Ján Litvik, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 2247

E-mail

jan.litvik@uniza.sk

Web-stránka

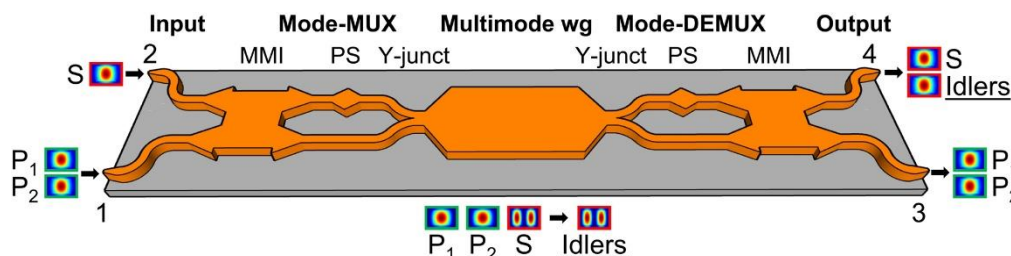
<https://optolab.feit.uniza.sk/>

Fotonické integrované zariadenia na platforme nitridov kremíka pre kvantové aplikácie a integráciu laserov

Opis projektu:

Integrovaná fotonika je široko vyžívaná v polovodičových obvodoch s aplikáciami v dátových centrách, vysoko-kapacitných telekomunikačných sieťach alebo výpočtových serveroch. Okrem tradičných aplikácií sa stáva integrovaná fotonika atraktívnou aj v prípade kvantovej fotoniky a pre integráciu laserov pre vlnové dĺžky kratšie ako 1300 nm. V porovnaní s etablovanou technológiou optických vlákien, integrovaná fotonika využíva vlnovody s vyšším indexom lomu, čo umožňuje vývoj kompaktných zariadení s vysokým stupňom integrácie komponentov, ktoré sú vyrobiteľné procesmi využívanými mikroelektronickým priemyslom. Je však ekonomicky a rozvojovo dôležité zabezpečiť efektívne využívanie zdrojov na čipe, a to predovšetkým nad rámec konvenčnej jedno-účelovej prevádzky zariadení, vrátane fungovania v obmedzenom pásme vlnových dĺžok alebo využitia iba jedného vybudeného polarizačného stavu. Z perspektívy fotonického systému, multi-funkčné zariadenia predstavujú budúcnosť komplexných riešení, adresujúc potreby nízkej spotreby energie a zvýšenou kapacitou prenosu dát.

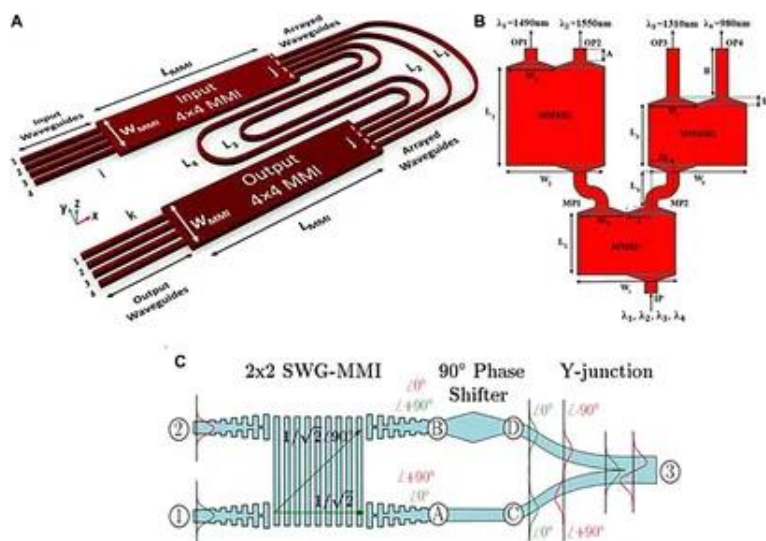
Bolo navrhnuté široké spektrum optických zariadení so špecifickou funkciou [1,2]. Sú to predovšetkým jednomódové vlnovody, rezonátory, filtre, interferometre, alebo prepojovacie väzobné členy. Kľúčovými aspektami sú nízko-stratové optické prepojenia nie len na úrovni vlákno-čip, ale aj vzájomné prepojenie rozličných zariadení priamo na integrovanom čipe [3-6]. Z tohto pohľadu sú atraktívne zariadenia ako rozdeľovače a zlučovače výkonu, polarizácie, módov, ktoré sú fyzicky reprezentované multimódovými interferometrami, Y- alebo smerovými spojkami [5,6]. Z pohľadu energetickej efektivity je väčšina zariadení navrhnutá len pre fungovanie s jedným polarizačným stavom vybudeného elektromagnetického poľa, a to v úzkom spektrálnom rozsahu transparentných vlnových dĺžok [3-6]. Z tohto dôvodu je zásadným cieľom vyvinúť nové optické prepojenia na čipe s pokročilými funkciami, ktoré dokážu kombinovať diverzné funkcie, nízke vložné straty, polarizačnú diverzitu alebo zlepšiť toleranciu voči chybám výrobného procesu (obr.1) [7-10].



Obr.1: Principiálna schéma integrácie vlnového konvertora pozostávajúceho z multimódového interferenčného väzobného člena (MMI), posúvača fázy (PS), Y-smerovej spojky, módového multiplexora, demultiplexora a prispôbovacích vlnovodov [9]

Tieto štruktúry slúžia na efektívne riadenie svetla (a jeho fundamentálnych charakteristík) a sú nevyhnutné pri formovaní moderných koherentných komunikačných a snímacích systémov realizovaných na čipe. Takéto zariadenia (obr.2) boli optimalizované predovšetkým na delenie optického výkonu. Ich využitie pre iné funkcie delenia svetla na fotonickom čipe sú však limitované v dôsledku silnej chromatickej disperzie spolu s polarizačnou závislosťou. Všetky tieto faktory

zásadným spôsobom ovplyvňujú výkonnostné parametre deličov a zlučovačov, ktoré sú nevyhnutné pre pokročilé fotonické aplikácie v 21. storočí [9, 10].



Obr.2: Metódy, aplikácie delenia a manipulácie svetla na čipe [10].

Doposiaľ najbežnejšie využívanou platformou bol kremík na izolátore (SOI), do popredia záujmu sa čoraz viac dostávajú materiály na báze nitridov kremíka. Ich atraktivita spočíva v rozšírení okna transparentnosti vlnových dĺžok, menšia citlivosť na teplotné zmeny a nižší kontrast indexu lomu v porovnaní s tradičnou materiálovou platformou SOI [11,12].

Ďalšou možnosťou je využitie hrebeňových alebo rebrových (rib) vlnovodov namiesto klasických planárnych vlnovodov, ktoré umožňujú väčší rozsah voľnosti pri manipulácii a ovplyvňovaní prenášaného elektromagnetického poľa. Rib vlnovody, vďaka svojmu geometrickému tvaru, môžu ponúknuť vyššiu kapacitu prenosu energie v porovnaní s planárnymi vlnovodmi. Ich tvar pomáha efektívnejšie koncentrovať elektromagnetickú energiu a znižuje straty pri prenose elektromagnetickej vlny. Taktiež umožňujú prenos v širšom frekvenčnom pásme a sú vhodnejšie pre aplikácie, kde je potrebné pracovať s vysokofrekvenčnými vlnami, tzn. kratšími vlnovými dĺžkami. Rib vlnovody sú menej citlivé na výrobné tolerancie, čo môže byť výhodné pri využití rôznych materiálov nielen v rámci samotnej vlnovodovej vrstvy, ale aj okolitých krycích vrstiev. Menšia citlivosť na nehomogenity a mikroskopické defekty materiálov znižuje rozptyl prenášanej elektromagnetickej vlny. Efektívnejšie smerovanie a koncentráciu elektromagnetických vln v požadovanom smere môže zvýšiť efektívnosť šírenia signálu, a tým znížiť straty na ohyboch [13-16].

Ciele projektu:

Cieľom projektu je vývoj novej generácie fotonických zariadení pre účely multi-pásmového prepojenia s polarizačnou diverzitou pri fungovaní s nízkymi vložnými stratami. V predkladanom projekte bude dôraz kladený na vývoj optických prepojení na čipe, a to prostredníctvom optických deličov/zlučovačov. Hlavnou myšlienkou projektu je využitie platformy nitridov kremíka s využitím rebrových (rib) vlnovodov na realizáciu zariadení s malými rozmermi a ponukou multi-účelového fungovania na jednom čipe pre vlnové dĺžky kratšie ako 1300 nm.

Projekt internej výskumnej stáže môže pokračovať ako rozšírená verzia diplomovej práce.

Metodológia projektu:

1) Štúdium literatúry: Naštudovanie si článkov týkajúcich sa tém integrovanej fotoniky na báze nitridu kremíka optických zlučovačov/deličov s diverzným fungovaním a parametrami.

2) Modelovanie optických prepojení na čipe: numerické simulácie s využitím numerických metód FDTD (Finite-Difference Time-Domain), FDE (Finite-Difference Eigenmode), EME (Eigenmode expansion) a verifikácia už existujúcich návrhov optických zariadení. Vytváranie zjednodušených 2D modelov a komplexných 3D simulácií pre rigoróznú evaluáciu navrhnutých riešení.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Snaha získať nové výskumné skúsenosti a úlohy

- Kreativita a proaktivita pri hľadaní inovatívnych riešení
- Schopnosť komunikovať, kooperovať 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] Y. Li, Y. Zhang, L. Zhang, a A. W. Poon, "Silicon and hybrid silicon photonic devices for intra-datacenter applications: state of the art and perspectives [Invited]", *Photon. Res.*, roč. 3, č. 5, s. B10, okt. 2015, doi: 10.1364/PRJ.3.000B10.
- [2] C. Xiang, W. Jin, a J. E. Bowers, "Silicon nitride passive and active photonic integrated circuits: trends and prospects", *Photon. Res.*, roč. 10, č. 6, s. A82, jún. 2022, doi: 10.1364/PRJ.452936.
- [3] D. Vermeulen a C. V. Poulton, "Optical Interfaces for Silicon Photonic Circuits", *Proc. IEEE*, roč. 106, č. 12, s. 2270–2280, dec. 2018, doi: 10.1109/JPROC.2018.2865725.
- [4] S. Nambiar, P. Ranganath, R. Kallega, a S. K. Selvaraja, "High efficiency DBR assisted grating chirp generators for silicon nitride fiber-chip coupling", *Sci Rep*, roč. 9, č. 1, s. 18821, dec. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-55140-8.
- [5] V. Vakarin et al., "Metamaterial-Engineered Silicon Beam Splitter Fabricated with Deep UV Immersion Lithography", *Nanomaterials*, roč. 11, č. 11, s. 2949, nov. 2021, doi: 10.3390/nano11112949.
- [6] C. Pérez-Armenta et al., "Polarization-independent multimode interference coupler with anisotropy-engineered bricked metamaterial", *Photon. Res.*, roč. 10, č. 4, s. A57, apr. 2022, doi: 10.1364/PRJ.446932.
- [7] X. Shi, Y. Lu, N. Peng, K. Rottwitt, a H. Ou, "High-Performance Polarization-Independent Beam Splitters and MZI in Silicon Carbide Integrated Platforms for Single-Photon Manipulation", *J. Lightwave Technol.*, roč. 40, č. 23, s. 7626–7633, dec. 2022, doi: 10.1109/JLT.2022.3169661.
- [8] Byung-Ki Yang, Sang-Yung Shin, a Daming Zhang, "Ultrashort Polarization Splitter Using Two-Mode Interference in Silicon Photonic Wires", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, roč. 21, č. 7, s. 432–434, apr. 2009, doi: 10.1109/LPT.2009.2013638.
- [9] V. Vitali et al., "Fully integrated and broadband Si-rich silicon nitride wavelength converter based on Bragg scattering intermodal four-wave mixing", *Photon. Res.*, roč. 12, č. 3, s. A1, mar. 2024, doi: 10.1364/PRJ.506691.
- [10] Y. Xu, Z. Tian, X. Meng, a Z. Chai, "Methods and applications of on-chip beam splitting: A review", *Front. Phys.*, roč. 10, s. 985208, sep. 2022, doi: 10.3389/fphy.2022.985208.
- [11] S. Romero-García, F. Merget, F. Zhong, H. Finkelstein, a J. Witzens, "Silicon nitride CMOS-compatible platform for integrated photonics applications at visible wavelengths", *Opt. Express*, roč. 21, č. 12, s. 14036, jún. 2013, doi: 10.1364/OE.21.014036.
- [12] J. Yu et al., "High-performance 90° hybrids based on MMI couplers in Si₃N₄ technology", *Optics Communications*, roč. 465, s. 125620, jún. 2020, doi: 10.1016/j.optcom.2020.125620.
- [13] M. L. Calvo a V. Lakshminarayanan, *Optical Waveguides: From Theory to Applied Technologies*, 1st vyd. CRC Press, 2018. doi: 10.1201/9781315221342.
- [14] K. Okamoto, *Fundamentals of optical waveguides*, Third edition. London San Diego, CA: Academic Press, 2022.
- [15] B. M. A. Rahman, N. Somasiri, C. Themistos, a K. T. V. Grattan, "Design of optical polarization splitters in a single-section deeply etched MMI waveguide", *Appl Phys B*, roč. 73, č. 5–6, s. 613–618, okt. 2001, doi: 10.1007/s003400100680.
- [16] R. Halir et al., "A Design Procedure for High-Performance, Rib-Waveguide-Based Multimode Interference Couplers in Silicon-on-Insulator", *J. Lightwave Technol.*, roč. 26, č. 16, s. 2928–2936, aug. 2008, doi: 10.1109/JLT.2007.914511.

2.9 Silicon-based photonic devices for broadband chip access

Workplace: Department of multimedia and information-communication technology

Research field: Information and communication sciences and Electrical engineering sciences

Specialized research area: Integrated photonics

Project supervisor: Ing. Daniel Benedikovič, PhD.

Contact data:

Phone

E-mail

Web-page

+421 41 513 2227

daniel.benedikovic@uniza.sk

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

Silicon-based photonic devices for broadband chip access

Project description:

The rapid evolution of communication networks, artificial intelligence, and emerging quantum technologies is increasingly driven by the need to integrate advanced optical functionalities on a chip. Photonic integrated circuits (PICs), typically realized on silicon-based waveguide platforms have become a cornerstone of this transformation. These platforms offer unique advantages including high index contrast, low propagation loss, compatibility with complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) technology, and the potential for large-scale integration of passive and active optical components. PICs are essential to meet the growing needs for compact, high-capacity, and energy-efficient devices and complex systems that can support data-intensive applications ranging from cloud computing and datacenters to quantum information processing and optical sensing.

A fundamental challenge, however, lies in the chip access interface. The strategy, by which light is efficiently coupled between standard optical fibers and nanoscale optical waveguides is key for aforementioned applications. Optical interface between the fiber and the chip critically determines overall system performance. In turn, this directly affects overall system losses, allowable power budget, optical bandwidth, and scalability. Conventional solutions for optical coupling, such as grating couplers and edge couplers, often face several trade-offs, especially in terms of bandwidth, efficiency, polarization dependence, and fabrication tolerance. Overcoming these limitations through innovative device design is therefore a central research task to enable the next generation of broadband, and versatile photonic integrated systems.

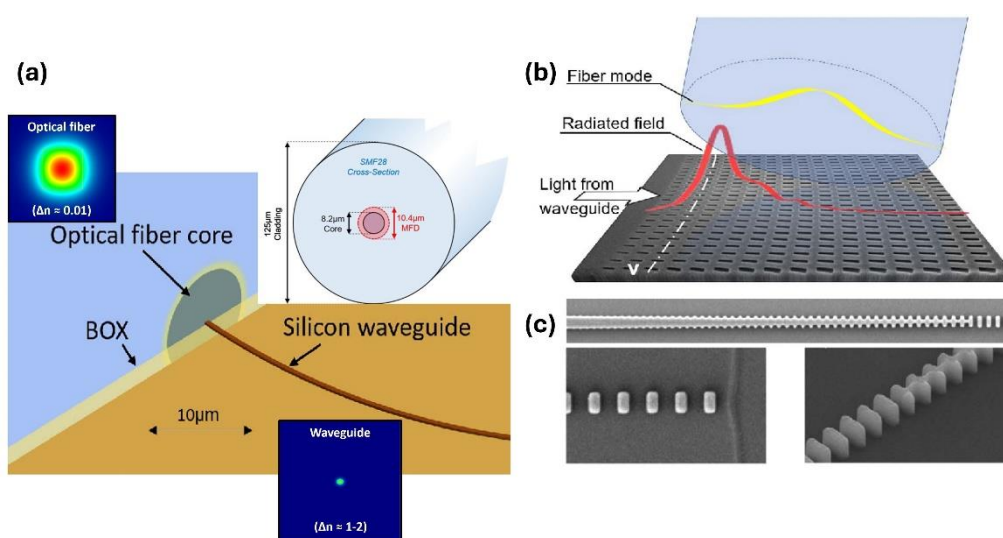


Figure 1: Fiber-chip optical coupling. (a) problem definition. (b) Surface grating coupler. (c) Edge coupler.

Optical coupling remains one of the most critical challenges in the design of PICs, particularly when targeting operation in the short-wave infrared (SWIR) spectral region below 1 μm . Conventional coupling techniques, though widely adopted in the near-infrared telecommunication bands, face inherent limitations that become even more pronounced at shorter wavelengths. Grating couplers are attractive solution for fiber-chip coupling due to their compact footprint and wafer-scale testing capability. However, their performance is compromised by limited operational bandwidth, relatively

high insertion losses, and strong polarization sensitivity. These drawbacks are exacerbated in the SWIR regime, where tighter mode confinement in sub-micron optical waveguides amplifies fabrication tolerances and scattering losses. On the other hand, edge couplers offer broadband operation and high efficiency, but they rely on careful mode expansion to bridge the size mismatch between optical fibers and nanophotonic waveguides. This typically requires long adiabatic tapers or multi-stage mode converters. This then increases device footprint and fabrication complexity. These factors are further intensified at shorter wavelengths due to reduced mode sizes and higher susceptibility to alignment errors. Moreover, single-layer photonic platforms often fail to simultaneously satisfy the stringent requirements for efficiency, bandwidth, and polarization independence, making it particularly difficult to design robust coupling interfaces for applications below 1 μm . These limitations highlight the urgent need for advanced coupling strategies. This includes adoption of multilayer architectures, utilization of inverse-design approaches, or exploiting hybrid material platforms. These strategies can overcome the described trade-offs between compactness, efficiency, and spectral coverage in the emerging SWIR photonic technologies.

The need for broadband, low-loss, and scalable fiber-chip coupling interfaces is becoming increasingly critical across a wide range of photonic applications. In high-speed datacenter interconnects, the relentless growth of global data traffic drives system requirements beyond current 400G and 800G standards towards 1.6T and beyond, demanding coupling solutions that can deliver both high efficiency and broad spectral coverage to sustain terabit-scale throughput. In heterogeneous photonic integrated circuits, where diverse material platforms such as silicon, silicon nitride, silicon-germanium, and III–V semiconductors are co-integrated to leverage complementary active and passive functionalities, versatile coupling architectures are required to ensure seamless interconnection across disparate optical modes and wavelength bands. Likewise, in emerging domains such as quantum and nonlinear photonics, efficient and broadband coupling plays a pivotal role in enabling single-photon sources, frequency conversion processes, entangled photon generation, and precision sensing, where spectral tunability and minimal insertion losses are indispensable for system-level performance. Collectively, these scenarios underscore the central importance of developing advanced coupling strategies that transcend the limitations of conventional grating and edge couplers, paving the way for scalable, high-capacity, and multi-functional PIC platforms.

Project objectives:

The overarching goal of this project is to develop advanced photonic devices that provide broadband, low-loss, and scalable optical access to PICs. The project aims to address fundamental limitations of current coupling techniques by developing novel device concepts tailored for next-generation photonic applications.

Specific Objectives:

- **Design and verification of state-of-the-art couplers**

Reproduce and validate fiber-chip edge and surface grating couplers reported in the literature
Establish reliable simulation workflows to benchmark device performance against published results
Quantitatively evaluate coupling efficiency, bandwidth, and polarization dependence

- **Development of novel coupling concepts**

Design of advanced devices that leverage silicon-based photonic platforms
Implement multi-layer and/or inverse-designed structures for improved performances
Optimize new coupling solutions through numerical modeling and optimization techniques

- **Expected Outcomes**

Benchmarked edge and grating couplers, serving as a reference for further innovations
Demonstrate strategies for integrating hybrid material platforms into coupling designs
Strengthened methodological framework for coupling device design, combining numerical modeling and machine learning-based optimization
Novel device concepts that achieve insertion losses below 1 dB, bandwidths over 100 nm, and polarization-dependent loss under 1 dB

Project methodology:

In this project, the numerical design and optimization of fiber-chip coupling interfaces will be carried out using advanced electromagnetic simulations, including 2D/3D finite-difference time-domain (FDTD) and finite difference element (FDE) methods. These tools will enable accurate modeling of light propagation, mode conversion, and coupling efficiency in photonic structures. The design methodology will focus on two complementary coupling strategies: (i) multi-layer edge couplers employing inverse taper geometries extended into higher cladding layers to facilitate efficient mode

expansion, and (ii) vertical grating couplers with dual-layer diffraction engineering to achieve broadband phase matching and enhanced coupling efficiency. To systematically explore the large and highly non-linear parameter space associated with these architectures, the project will integrate advanced optimization frameworks based on evolution-based metaheuristic approaches.

Workflow Diagram

Step 1: Problem definition

Step 2: Electromagnetic modeling via 2D/3D FDTD, FDE simulations

Step 3: Initial design strategies to verify existing solutions and explore novel design concept

Step 4: Comprehensive parameter sweeps & design space exploration

Step 5: Device optimization via metaheuristic-based techniques

Step 6: Performance evaluation towards: coupling loss < 1 dB, optical bandwidth > 100 nm, polarization-dependent loss < 1 dB

Required qualities and skills for students:

- Strong curiosity and motivation to engage in new research experiences and challenges
- Creativity and proactivity in identifying and developing innovative solutions
- Good communication skills, with the ability to present and share research results effectively in both oral and written form
- Proficiency in using simulation software such as Ansys Lumerical
- Basic programming experience and familiarity with fundamental concepts of machine learning

Project support and finances:

The internship project is carried out within the framework of the project: Multiband photonic integrated library for quantum-optical systems (MIRAQLE), 09I03-03-V04-00410, Slovakia's National Recovery and Resilience Plan: Fellowships for excellent researchers R2-R4, 2024-2026.

References:

- [1] R. Marchetti, C. Lacava, L. Carroll, K.I Gradkowski, and P. Minzioni, "Coupling strategies for silicon photonics integrated chips [Invited]" *Photonics Research* Vol. 7, Issue 2, pp. 201-239 (2019).
- [2] I. Skandalos, T. Domínguez Bucio, L. Mastronardi, T. Rutirawut & F. Y. Gardes, "Coupling strategy between high-index and mid-index micro-metric waveguides for O-band applications" *Scientific Reports* volume 12, Article number: 17453 (2022).
- [3] D. Benedikovic, et al., "Coupling strategies for integrated photonics: advances and opportunities" *Proceedings Volume 13508, 23rd Slovak-Czech-Polish Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics; 135080N* (2025). Event: Slovak-Czech-Polish Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics (SCPOC 2024), 2024, Strbske Pleso, Slovakia.

2.10 Digitálne dvojča mesta Žilina

Pracovisko: Katedra riadenia 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

NA

Digitálne dvojča mesta Žilina

Opis projektu:

Predkladaná stáž predstavuje komplexnú výskumnú a inovačnú iniciatívu, 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, mikroklimu, 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

Financovanie:

Grantový systém UNIZA (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 Bezpečné spracovanie obrazu – softvér

Pracovisko: Katedra riadenia a informačných systémov

Výskumná oblasť: Informačné a komunikačné vedy

Špecifická oblasť výskumu: Bezpečnosť riadiacich systémov

Vedúci projektu: doc. Ing. Juraj Ždánsky, PhD.

Kontaktné údaje:

Telefón

+421 41 513 3342

E-mail

juraj.zdansky@uniza.sk

Web-stránka

<https://kris.uniza.sk>

Bezpečné spracovanie obrazu – softvér

Opis projektu:

Projekt priamo nadväzuje na projekt internej výskumnej stáže s názvom Bezpečné spracovanie obrazu riešený v letnom semestri ak.r. 2024/25. V rámci tohto projektu bol navrhnutý algoritmus na zachytenie zmien obraze použiteľný na bezpečné spracovanie obrazu. Pre navrhnutý algoritmus bol vytvorený aj softvér v prostredí MATLAB realizujúci tento algoritmus.

Problematika detekcie zmien v obraze je bežnou súčasťou komerčne dostupných systémov. Tieto systémy však nedosahujú niektorú z úrovní integrity bezpečnosti (SIL – Safety Integrity Level) definovanú v [1] a preto nemôžu byť použité v aplikáciách, kde potenciálne zlyhanie detekcie zmeny v obraze môže viesť k poškodeniu zdravia, ohrozeniu života alebo životného prostredia, prípadne k rozsiahlym materiálnym škodám. Použitie detekcie v uvedených aplikáciách si vyžaduje taký prístup k detekcii obrazu, ktorý zaisť spracovanie obrazu vzhľadom na definovanú funkciu s požadovanou SIL.

Algoritmus navrhnutý v rámci predchádzajúcej internej výskumnej stáže využíva „okno“, ktoré postupne prechádza cez celú maticu pixelového rozdielu medzi dvoma snímkami a spriemeruje danú oblasť pod „oknom“. Výsledkom je v podstate vyhladený obraz pixelového rozdielu dvoch snímok, z ktorého sa pomocou nastavenej hranice vytvorí binárna maska (log. 0 a 1). Spočítaním počtu pixelov označených logickou 1 v maske a následným vydelením počtom všetkých pixelov dostaneme podiel nezhodných pixelov. Nastavením prahovej hodnoty (napr. 10 % pre čiastočné filtrovanie šumu, alebo 0 % pre citlivú detekciu) vieme určiť rozsah zmeny v obraze, resp. prítomnosť objektu v obraze. Výsledkom teda je naprogramovaná metóda na detekciu objektu, ktorá je (pri rovnakom osvetlení (bez zmeny podmienok) a správnom nastavení vstupných parametrov algoritmu) schopná detegovať objekt v reálnom čase.

Táto metóda je naprogramovaná v prostredí MATLAB a je nezávislá od akýchkoľvek knižníc. Ako vstup berie natočené video s ľubovoľným rozlíšením, z neho extrahuje snímky, ktoré prevedie do odtieňov sivej a následne spustí algoritmus detekcie. Výstupom algoritmu je binárna informácia o prítomnosti, resp. neprítomnosti objektu. Táto informácia je dôležitá ako vstup pre riadiaci systém, ale pre účely testovania a ladenia sú dostupné aj ďalšie dáta ako hodnota nezhody (percentuálneho podielu zmenených pixelov) a matica masky.

Aby bol uvedený algoritmus vhodný na použitie v bezpečnostne relevantných aplikáciách, treba sa zaoberať najmä jeho presnosťou a správaním pri rôznych typoch osvetlenia. Z tohto dôvodu bude nutné vytvorenie pracoviska, resp. pracovísk, ktoré umožnia vytvoriť rôzne obrazové vstupy na testovanie algoritmu a jeho následné vylepšenia. Celý algoritmus musí zohľadňovať skutočnosť, že jeho cieľová implementácia bude implementovaná na viackanálovom (pravdepodobne dvojkanálovom) systéme. To si vyžaduje dostatočnú časovú flexibilitu algoritmu, ako aj schopnosť vymieňať informácie s druhým kanálom.

Ciele projektu:

Cieľom projektu internej výskumnej stáže študenta je:

- Vytvorenie pracoviska na získanie vhodného datasetu v rôznych podmienkach okolitého prostredia.

- Návrh a realizácia úprav algoritmu pre rôzny typy okolitého prostredia, predovšetkým pre rôzne typy osvetlenia snímanej scény.
- Validácia presnosti detekcie navrhnutého algoritmu.

Metodológia projektu:

Metodológiu projektu možno zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- Zoznámenie sa doterajšími výsledkami.
- Návrh a realizácia pracoviska na získanie vhodného datasetu v rôznych podmienkach okolitého prostredia.
- Spracovanie získaného datasetu existujúcim algoritmom a vyhodnotenie jeho presnosti.
- Návrh a realizácia úprav algoritmu.
- Spracovanie získaného datasetu upraveným algoritmom, vyhodnotenie presnosti a porovnanie s výsledkami pôvodného algoritmu.
- Posledné dva body bude treba aplikovať vo viacerých iteráciách až po dosiahnutie vyhovujúcich výsledkov.

Požadované kvality/znalosti študenta:

- Skúsenosti s programovaním MATLAB.
- Znalosť základných princípov viackanálových architektúr riadiacich systémov.
- Základné znalosti z oblasti spracovania obrazu.
- Znalosť anglického jazyka – nevyhnutnosť štúdia literatúry v angličtine.
- Ochota učiť sa a skúšať nové veci.

Financovanie:

Advanced Localization Sensors and Techniques for Autonomous vehicles and Robots, 02/2024 - 12/2025, APVV SK-IL-RD-23-0002

Referencie:

- [1] EN 61508, "Functional safety of electrical/ electronic/programmable electronic safety-related systems," 2010.
- [2] WU, Yujie, et al. Video object detection guided by object blur evaluation. IEEE Access, 2020, 8: 208554-208565. Online: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9262895>
- [3] CECCARELLI, Andrea; MONTECCHI, Leonardo. Evaluating object (mis) detection from a safety and reliability perspective: discussion and measures. IEEE Access, 2023, 11: 44952-44963. Online: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10115418>
- [4] SIVAGURUNATHAN, Sathishkumar, et al. Automatic detection of entry into a restricted area. In: Fifth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT). IEEE, 2014. p. 1-5. Online: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6963126>
- [5] SADIQ, Mohd; MASOOD, Sarfaraz; PAL, Om. FD-YOLOv5: a fuzzy image enhancement based robust object detection model for safety helmet detection. International Journal of Fuzzy Systems, 2022, 24.5: 2600-2616. Online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40815-022-01267-2>
- [6] YANG, Biao; ZOU, Ling. Robust foreground detection using block-based RPCA. Optik, 2015, 126.23: 4586-4590. Online : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030402615008256>
- [7] DRYGALA, Claudia, et al. Background-foreground segmentation for interior sensing in automotive industry. Journal of Mathematics in Industry, 2022, 12.1: 13. Online : <https://link.springer.com/article/10.1186/s13362-022-00128-9>
- [8] KARTHIKEYAN, P. R.; SAKTHIVEL, P.; KARTHIK, T. S. Comparative study of illumination-invariant foreground detection. the Journal of Supercomputing, 2020, 76.4: 2289-2301. Online : <https://link.springer.com/article/10.1007/s11227-018-2488-1>

