

ODBORNÁ ZPRÁVA
O POSTUPU PRACÍ A DOSAŽENÝCH VÝSLEDKÍCH
ZA ROK 2017

Příloha k průběžné nebo závěrečné za rok 2017

Číslo projektu: TE01020197

Název projektu: Centrum aplikované kybernetiky 3

Předkládá:

Název organizace: ČVUT v Praze

Jméno řešitele: prof. Ing. Vladimír Kučera, DrSc., dr. h. c.

WP12 – Modelování celoevropského trhu s elektřinou zahrnující fyzikální model přenosové sítě

Předmětem pracovního balíčku je vývoj celoevropského modelu trhu s elektrickou energií. Model je definován jako optimalizace minimalizující náklady výrobu elektrické energie při dodržení omezujících podmínek, které modelují fyzikální a ekonomické (nákladové) charakteristiky výrobního portfolia, požadavek na dodávku elektrické energie a nastavení obchodního prostředí. Součástí modelu jsou i omezení dané fyzikálními vlastnostmi přenosové soustavy.

V roce 2017 podle plánu probíhaly tyto aktivity:

Implementace prototypového modelu trhu s podrobným modelem trhu

Stávající implementace software byla rozšířena o nové vlastnosti, které dále přiblíží výsledky simulací reálnému způsobu fungování přenosové soustavy. Rozšiřování proběhlo v několika krocích, z nichž nejdůležitější představují:

1. Opravy nekauzálního způsobu simulace výpadků.
2. Modelování proměnných kapacit NTC, BTC mezi státy.
3. Modelování HVDC propojení mezi synchronními oblastmi.
4. Simulace komplexního modelu Evropské přenosové soustavy (EPS).
5. Srovnání výsledků simulace EPS s komerčními nástroji.

Novou součástí podrobného modelu bylo zavedení časově proměnných přenosových kapacit na přeshraničních profilech. Toto vylepšení umožňuje modelu zadat reálné obchodní či technické omezení přenosových kapacit na přeshraničních profilech. Nastavení limitů ovlivňuje vzájemnou výměnu energie mezi státy a umožňuje zkoumání změny skladby jejich zdrojů za různých provozních situací.

Testování a verifikace výsledků prototypu

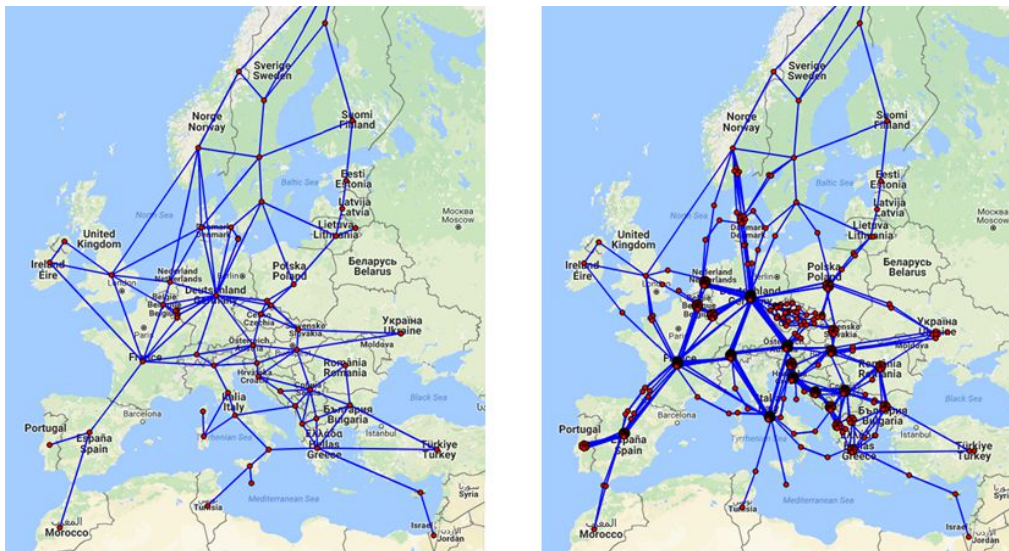
Kromě oprav a rozšíření modelu probíhalo tento rok testování a verifikace prototypu. Testování probíhalo na modelu Evropské elektrizační soustavy obsahující všechny dříve uvedené vylepšení modelu. Testování bylo rozděleno do dvou fází:

- Zrychlení doby simulace stávající implementace
- Srovnání kvality výsledků s dostupnými nástroji

Zrychlení doby simulace bylo dosaženo především optimalizacemi v jádru aplikace. Mezi klíčové vylepšení dosažené v tomto roce patří:

- Rychlejší vytváření modelů k optimalizaci
- Efektivnější formulace části omezení
- Odstranění redundantních omezení
- Rychlejší simulace výpadků
- Několik nových vlastností omezující stavový prostor možných řešení
- Objektově čistší řešení části knihoven

Po vyladění modelu bylo přistoupeno k testování na komplexnějším modelu Evropské přenosové soustavy s nezjednodušenou topologií. Rozdíl mezi oběma soustavami demonstruje obr. 12.1.



Obrázek 12.1 - Srovnání modelových Evropských soustav

Komplexnější model obsahuje nejen 26x více vedení, ale především obsahuje modelování toků metodou DC Load Flow, která již byla implementovaná v předchozím období. Tato metoda je blíže skutečným tokům v soustavě než použití samotných NTC, BTC a značně zvyšuje komplexnost úlohy.

V letošním roce se podařilo provést první simulace komplexního modelu Evropské soustavy, při kterých docházelo k akumulaci numerických chyb v průběhu výpočtu. Jejich odstranění bude věnováno úsilí v následujícím období.

Dosažené výsledky simulace jednoduššího modelu Evropské elektrizační soustavy byly srovnány s výstupy z obdobných simulačních nástrojů na stejných vstupních datech. Nástroj pro modelování celoevropského trhu s elektřinou poskytl při interním srovnání stejně kvalitní reprodukovatelné výsledky. Rozdíly mezi jednotlivými druhy software byly způsobeny především v odlišných způsobech plánování produkce vodních zdrojů. Část nástrojů neuvažovala v tomto kroku možnost importu/exportu energie ze sousedních států, čímž uměle zvýšila produkci drahých zdrojů a tím i celkové náklady na výrobu elektrické energie.

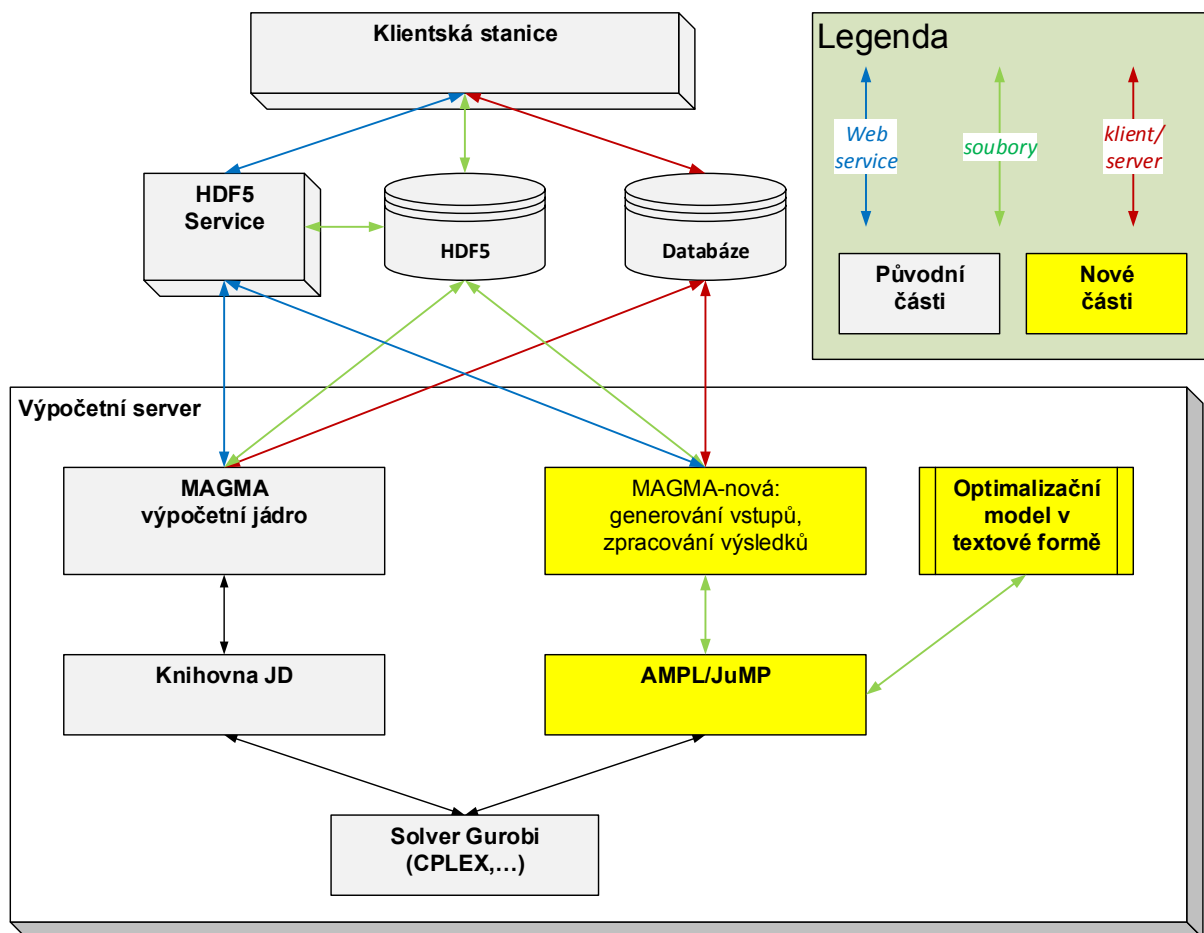
Pro rozšíření funkcností optimalizačního modelu bylo v 2. pololetí roku 2017 naplánováno přidání do systému MAGMA modelování ve specializovaném optimalizačním modelovacím jazyce **Julia** <https://julialang.org/> resp. v jeho modelovací nadstavbě pro optimalizaci **JuMP** <https://github.com/JuliaOpt/JuMP.jl>

JuMP vytváří optimalizační problémy srovnatelně rychle jako obdobné nástroje, např. AMPL, a přitom zachovává možnost využití ostatních nástrojů poskytovaných jazykem Julia. Lze jej tak snadno zakomponovat do rozsáhlejšího systému nebo workflow.

Přínosy rozšíření jsou následující.

- oddělení dat od vlastního optimalizačního modelu, což umožňuje i personální oddělení rozvoje optimalizačního modelu (expertní odbornost požadující znalosti energetiky i optimalizačních technik) od rutinních programátorských prací (GUI, generování vstupních dat, reporty atd.)
- model je v otevřené textové formě čitelný pro každého
 - textový zápis cílové funkce a omezení v symbolické formě
 - možnost snadných změn v modelu
- rozšíření možností předzpracování dat a postprocesingu dat využitím rychlého a mocného programovacího nástroje Julia/JuMP
- lepší provázání předzpracování a postprocesingu dat s vlastní optimalizací

Z hlediska architektury je řešení koncipováno podle následujícího obr. 12.2 (žlutě jsou nové komponenty):



Obrázek 12.1 - Srovnání modelových Evropských soustav

WP13 – WAMS rádce operátora elektrické přenosové a distribuční sítě pro účely zvýšení stability a spolehlivosti

Návrh a ověření metody bezpečného rozhraní mezi přenosovou a distribuční sítí - linearizovaný statický model

V této aktivitě byla navržena metoda pro výpočet parametrů bezpečného rozhraní mezi sítěmi, které bylo specifikováno ve výše uvedené aktivitě. Tato metoda určuje velikosti bezpečných rozhraní ve formě P-Q intervalů, přičemž využívá linearizovaný statický model sítě.

Návrh a ověření metody bezpečného rozhraní mezi přenosovou a distribuční sítí, popřípadě distribuční a lokální sítí – linearizovaný model s průběžně aktualizovanými parametry sítě a predikovanými stavy distribuovaných zdrojů, akumulací a řízených spotřeb

Tato aktivita navazuje a dále rozvíjí činnosti vykonané v rámci aktivity *Návrh a ověření metody bezpečného rozhraní mezi přenosovou a distribuční sítí - linearizovaný statický model*. Navržená metoda výpočtu bezpečných P-Q intervalů na rozhraní mezi přenosovou a distribuční sítí byla rozšířena o výpočet ampacity vedení tak, aby respektovala závislost síťových omezení na počasí.

Specifikace principů, funkcionalit a strukturální návrh decentralizovaného systému pro podporu rozhodování

Předmětem aktivity je návrh decentralizovaného systému pro podporu rozhodování. Byly navrženy principy decentralizace systému, toky informací mezi jednotlivými částmi systému a systémy z nadřazených a podřízených sítí. V této aktivitě byly specifikovány funkcionality systému včetně funkcionality monitorování rozhraní. Bylo navrženo rozdělení těchto funkcionalit mezi jednotlivé části systému (ústředny a PMU). Specifikace mohou být ještě v dalším období projektu upřesněny dle nových zjištění.

Vývoj HW a SW decentralizovaného systému pro podporu rozhodování

Jednotky PMU byly během roku 2017 doplněny o dvouřádkový alfanumerický stavový display, aby informace o provozních stavech mohly být ucelenější a přehlednější. Jednotky byly dále doplněny o moduly RTC s baterií. Rovněž bylo nutno řešit otázku pasivního chlazení jednotky s procesorem Allwinner H3.

Během roku 2017 byly testovány funkční vzorky, následně byla zahájena výroba prototypů jak po stránce hardwarové, tak programové.

Byl vyvinut firmware vlastní měřicí karty a potřebný ovladač do OS Linux. Dále následovaly úpravy synchronizačních modulů a moduly komunikačních protokolů pro komunikaci s datovou centrálou (PDC) včetně ovládání LTE modemu. Další moduly jsou zpracovávány pro komunikaci mezi základní jednotkou a rozšiřujícími jednotkami. Do OS byly implementovány drivery pro LCD displej, RTC a podporu funkce „thermal throttling“.

Pro rok 2017 byl plánován výstup „V174 – Analyzátor a krátkodobý prediktor toků v rozhraní sítí (13)“ (R – Software). Uvedený software byl implementován v programovacím jazyku Python.

V nadcházejícím roce bude pokračovat vývoj metody bezpečného rozhraní a její SW implementace v jazyku Python.

Hlavní náplní prací zaměřených na vývoj PMU zařízení bude v roce 2018 pokračování programování a ladění aplikačního programového vybavení tak, aby bylo do 9/2018 dosaženo prototypu.

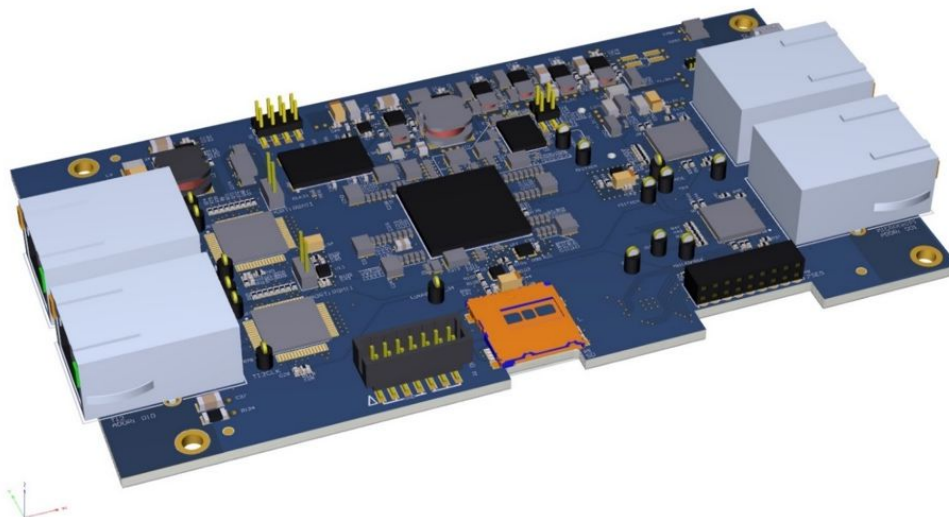
WP14 – Pokročilé metody řízení mechatronických systémů

Inovace servozesilovače s ohledem na použití pro řízení trakčních a lineárních motorů

Vývoj a testování nové sběrnice pracující v reálném čase

Během uplynulého roku probíhal vývoj a testování nové sběrnice pracující v reálném čase s komunikační rychlostí 1Gb/s. Práce probíhaly v těchto etapách:

Vývoj a výroba desky „1Gb/s Ethernet Board“ za účelem výběru optimálního budiče a jeho zapojení a testování vlastní 1Gb/s komunikace v reálném čase. Na desce se testovaly obvody od firem TI a Microchip. 3-D model komunikační desky je možné vidět na následujícím obr. 14.1:



Obrázek 14.1 - 3-D model komunikační desky

Obvod od TI měl menší spotřebu, kratší latenci a umožnil RGMII provoz. Dle výsledku testů bylo rozhodnuto, že pro novou řídicí kartu TGZ-control budou použity budiče TI v RGMII provozu. Tím se sníží celková spotřeba a současně se uvolní vstupy na procesoru.

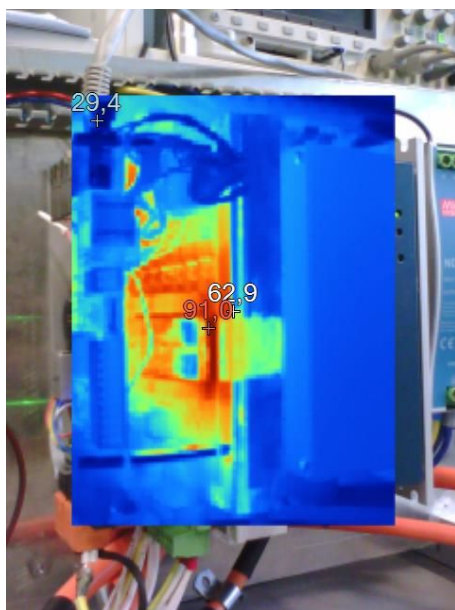
Implementace a test komunikačního protokolu 1Gb/s v reálném čase bude prováděn v roce 2018 a 2019.

Snížení ztrát, zvýšení jmenovitých hodnot, zvýšení EMC odolnosti

Na nové výkonové desce TGZ320 -5/12 byly provedeny zásadní změny v buzení výkonových transistorů. Tyto změny přinesly:

- Snížení přepínacích ztrát
- Vyšší odolnost vůči zkratům díky saturační ochraně tranzistorů
- Zvýšená odolnost vůči rušení

Bylo dosaženo následujících dob zapnutí a vypnutí výkonových tranzistorů. Doba zapnutí 41 ns pro TGZ 320.4 a 77,5 ns pro TGZ 320.3. Doba vypnutí 14,4 ns pro TGZ 320.4 a 63,5 ns pro TGZ 320.3. Měření proběhlo při okolní teplotě 25 °C při zadaném proudu zátěží obou os 6 A RMS a spínací frekvenci 10 kHz. Oproti předchozí verzi došlo ke zlepšení o cca 40 % díky zrychlení vypínacího a zapínacího děje. Snížení přepínacích ztrát se podařilo dosáhnout díky kvalitnějším kondenzátorům na meziobvodu s vyšším tlumením napěťových špiček a také díky nové konstrukci DPS – viz obr. 14.2.



Obrázek 14.2 – Snížení přepínacích ztrát

Bezpečné vypnutí momentu

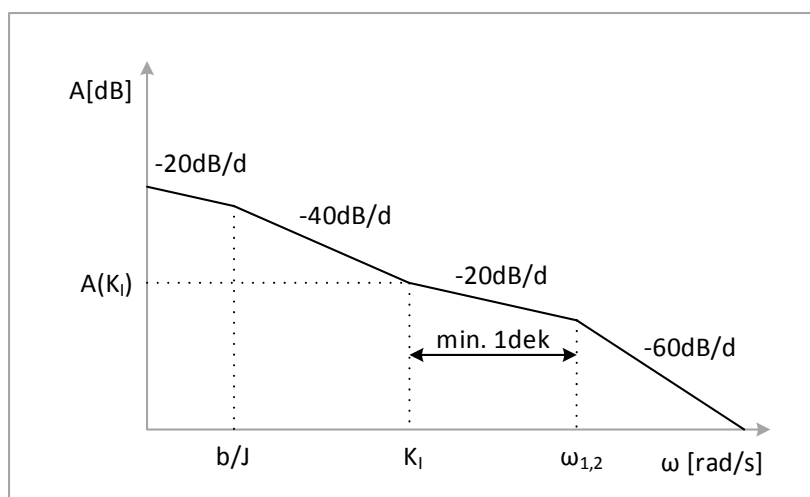
Do nové verze všech servozesilovačů je nyní implementována dvoukanálová funkce Safe Torque Off STO – bezpečného vypnutí momentu, které odpovídá normě ČSN EN 61800-5-2.

Výsledkem pokračujícího vývoje je nový dvouosý digitální servozesilovač TGZ-D-48-50/100-UNI vhodný pro bateriové aplikace. Jedná se o servozesilovač s napájecím napětím 6 – 48 V a jmenovitým výstupním proudem 50 A pro každou osu. Špičkově může dodávat až 100 A. Inovace servozesilovače spočívá v dosažení kompaktních rozměrů a vysokých výkonů až 2 x 2400 W. Je možné použít různé zpětnovazební protokoly, např. Hiperface DSL (jednokabelové provedení), ENDAT 2.2, SSI a další. Servozesilovač může pracovat v těchto režimech: momentové řízení, rychlostní řízení, absolutní polohování, relativní polohování a souvislé řízení po sběrnici EtherCAT.

Poznatky z optimalizací na desce TGZ 320.4 se budou aplikovat na další výkonové desky TGZ48-13/26 a TGZ-48-50/100.

Vývoj algoritmů pro samo se nastavující regulátory servozesilovače

Vývoj algoritmů pro samo se nastavující regulátory servozesilovače je možné rozdělit podle typu soustavy na metody pro jednohmotové a vícehmotové (počet připojených setrvačností bez pevné vazby). Pro jednoduché jednohmotové soustavy, kde pružnost mezi připojenou setrvačností a hřídelí motoru je zanedbatelná, byla zvolena metoda tvarování frekvenční charakteristiky otevřené smyčky. Tato metoda vychází ze znalosti přibližného tvaru frekvenční charakteristiky přenosu požadované hodnoty proudu na otáčky rotoru – viz obr. 14.3.



Obrázek 14.3 – Frekvenční charakteristika přenosu požadované hodnoty proudu na otáčky rotoru

Tato frekvenční charakteristika má dva pevně dané zlomy: b/J a $\omega_{1,2}$ a jeden volitelný – K_I . Charakter přechodného děje regulace určuje pásmo v okolí $A=0\text{dB}$, které má mít sklon -20dB/dek (ovlivňuje fázovou bezpečnost). Volitelný bod – K_I se umístí do frekvence minimálně o dekádu menší, než je frekvence zlomu od proudové smyčky ($\omega_{1,2}$) a zároveň do vyšší frekvence než b/J . Zesílení regulátoru se zvolí tak, aby střed tohoto pásma ležel v hodnotě zesílení 0 dB . Zesílení se odvozuje z rovnice PI regulátoru v daném zapojení. A_{K_I} je zesílení otevřené smyčky na frekvenci $0.1\omega_{1,2}$. Celkový postup lze shrnout do následujících bodů:

- 1) Výpočet frekvence plynoucí ze znalosti regulované smyčky proudu (R, L, K_p, T_i)
- 2) Volba vstupního signálu - jako požadovaná hodnota proudu se použije harmonický signál o frekvenci rovné jedné desetinné vypočtené frekvence
- 3) Měření zesílení na zvolené frekvenci a výpočet parametrů PI regulátoru otáček

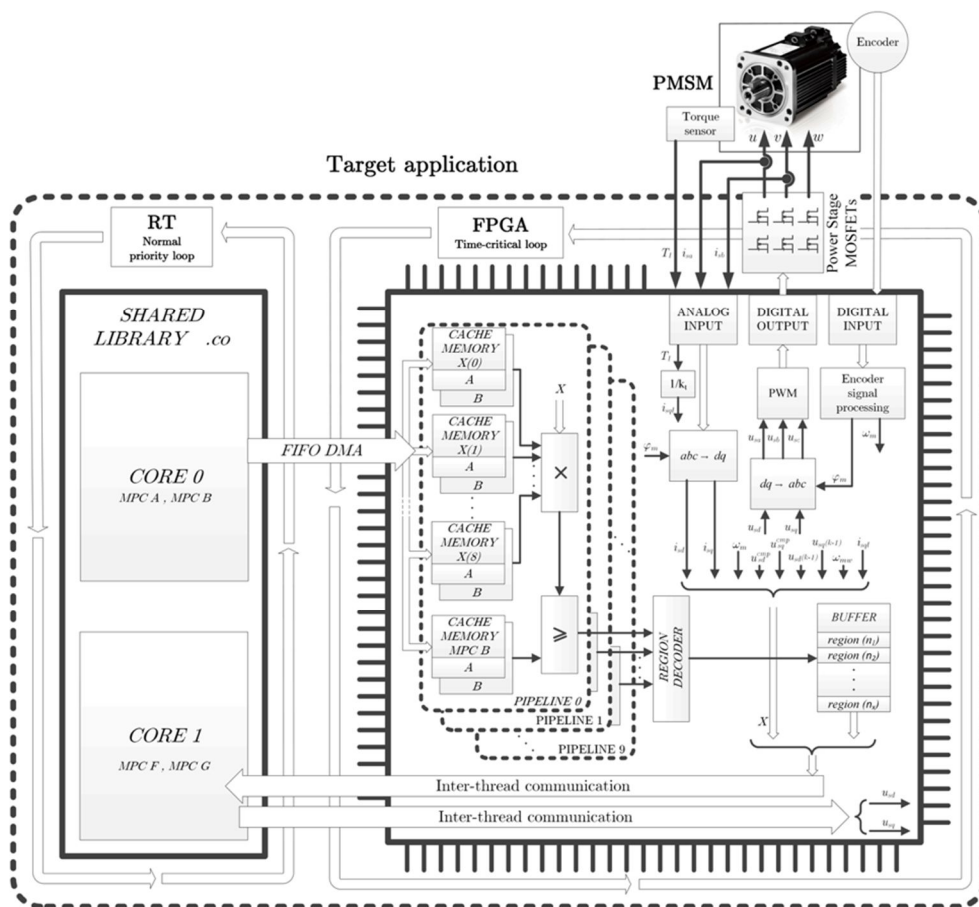
V případě, že je změřené zesílení příliš malé (kvůli velké setrvačnosti, nebo velkému tření), tak je nutné snížit frekvenci vstupního harmonického signálu a měření opakovat.

Dále byla postavena platforma na testování algoritmů automatického návrhu regulátorů. Ta umožňuje vytvořit fyzikální model vícehmotového systému. V navazujícím roce bude pokračovat vývoj algoritmů pro automatický návrh parametrů polohové regulační smyčky a vývoj algoritmů pro samo se nastavující regulátory pro vícehmotové systémy.

Aplikace algoritmů prediktivního řízení v servozesilovači

Probíhala implementace algoritmu prediktivního řízení na platformě CompactRIO. Algoritmus řízení je rozdělen do dvou částí. První část algoritmu je vykonávána v procesoru, který pracuje se systémem reálného času (RT). Druhá část algoritmu je implementovaná v hradlovém poli (FPGA). Explicitní prediktivní algoritmus řízení je sice náročný na velikost paměti, ale proces vyhledávání optimálního regionu stavového prostoru se dá velice dobře paralelizovat. Proto byl zvolen koncept spojení RT procesoru, který bude výpočetně akcelerován pomocí FPGA. V RT části jsou uloženy matice, které obsahují hodnoty koeficientů váhové funkce pro každý region stavového prostoru systému. Tyto matice hodnot jsou příliš velké a FPGA nedisponuje dostatečnou velikostí paměti. Proto jsou postupně přesouvány z RT části do FPGA části pomocí DMA kanálů. V FPGA části jsou dále implementovány „pipeline“, které paralelně počítají váhovou funkci. Při nalezení optimálního regionu je tato informace zpět předána do RT části, kde se dopočítá výsledný akční zásah.

Vyvíjený MPC algoritmus byl implementován na platformě NI cRIO – 9038, která disponuje dvou jádrovým Intel Atom procesorem a hradlovým polem Xilinx Kintex-7 160T. Přestože platforma cRIO – 9083 patří do kategorie „rapid prototyping“ systémů a není tedy vhodná pro široké nasazení, můžeme stejného konceptu použít na platformě Zynq 7000. Architektura Zynq 7000 patří do kategorie systém na čipu (SoC) a taktéž je postavena na spojení procesoru a hradlového pole. Viz obr. 14.4.



Obrázek 14.4 – Implementace algoritmu prediktivního řízení

Dosažené výsledky byly publikovány v časopisecké publikaci (viz výsledky dle kategorie RIV). V následujícím roce bude probíhat další vývoj v této oblasti. Cílem je další snižování výpočetní náročnosti, které povede k vytvoření funkčního vzorku měniče s algoritmy prediktivního řízení.

Plánovaný výsledek TE01020197-V149

Článek ve sborníku konference popisující výsledky v oblasti prediktivního řízení elektrických motorů (14)

Mynar, Z., Vesely, L. and Vaclavek, P. PMSM Model Predictive Control With Field-Weakening Implementation. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 8, pp. 5156-5166, August 2016.
X – jiné, článek v časopise

WP15 – Heterogenní mobilní robotická skupina pro speciální použití

Práce na pracovním balíčku probíhají podle stanoveného plánu.

Vývoj a výroba robotu pro vnější prostředí

V roce 2018 byl dokončen vývoj a výroba robotu pro vnější prostředí (viz fotografie na obr. 1).



Obrázek 14.1 – Robot pro vnější prostředí

Tento stroj byl prodán již na konci roku 2016 Státnímu ústavu radiální ochrany, v.v.i., se kterým byla díky tomu navázána hlubší spolupráce a vznikla sada nových požadavků na vylepšení robotu Morpheus. V roce 2017 byla realizována některá vylepšení robotu, mimo jiné právě na základě podnětů od SÚRO v.v.i. V současné době je již prakticky hotová druhá generace robotu Morpheus s několika důležitými vylepšeními. Mimo jiné byly i vylepšeny motory a měniče, které v projektu zajišťuje firma TG Drives s.r.o. a vznikají v úzké spolupráci s řešiteli pracovního balíčku 14.

Vývoj a výroba robotu pro vnitřní prostředí

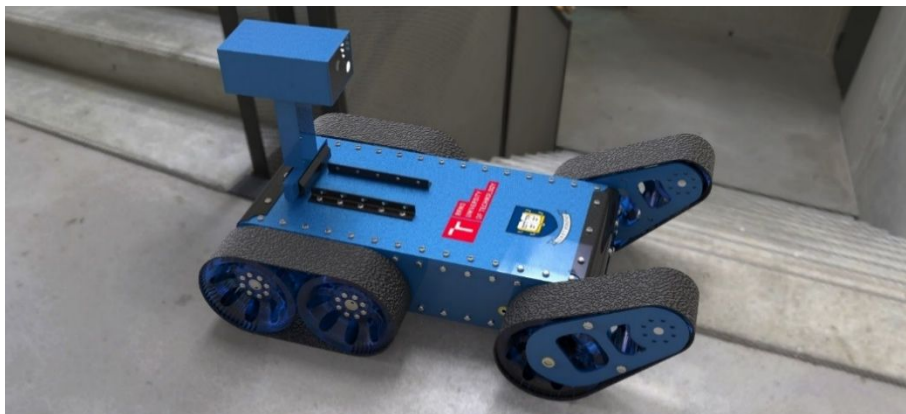
Začátkem roku 2017 započala nová aktivita: Vývoj a výroba robotu pro vnitřní prostředí, která má být ukončena koncem roku 2018. V současné době je již známá konfigurace robotu (viz vizualizace níže na

obr. 15.2). Tento robot s pracovním názvem Scorpio mk2 je vyvíjen ve spolupráci s prestižní Yale University, USA.

Zkušenosti získané při řešení projektu ČAK II byly navíc využity při tvorbě robotu Orpheus-F1 (viz obrázek 15.3), což je typ určený pro požární průzkum. Tento stroj je již testován v Hasičském záchranném sboru automobilky Škoda Mladá Boleslav.

Vývoj sebelokalizačních algoritmů pro vnější prostředí

V souladu s plánem činností byly dále vylepšovány algoritmy pro sebelokalizaci robotů ve vnitřním a vnějším prostředí. Tyto algoritmy jsou nejen prezentovány odborné komunitě, ale jsou i prakticky



Obrázek 15.2 – Konfigurace robotu s pracovním názvem Scorpio mk2

využívány pro další výzkum, například při řešení grantu TAČR TH01020862: Systém pro automatickou/automatizovanou detekci/ monitorování radiační situace a lokalizaci horkých zón, založený na inteligentní multifunkční detekční hlavě použitelné pro stacionární a mobilní platformy vč. bezobslužných.



Obrázek 15.3 – Robot Orpheus-F1

Byla rovněž dokončena nová verze operátorské stanice s obslužným programem ARGOS/CASSANDRA umožňující ovládání robotů typu Orpheus/Morpheus/Scorpio, včetně využití teleprezence a rozšířené reality.

Nadále probíhá úzká spolupráce s řešiteli pracovního balíčku 14 na regulátoru motorů pro všechny typy zmíněných robotů. Podrobnější informace jsou po dohodě uvedeny v části zprávy věnované tomuto balíčku.

WP16 – Hlasové systémy pro interakci člověka se stroji

Tvorba akustického a jazykového modelu; příprava modulu syntézy řeči a modulu porozumění pro vybranou doménu mluveného slovanského jazyka

S ohledem na výběr domény v následujících aktivitách byla i v případě dalšího zpracovávaného slovanského jazyka - slovenštiny – zvolena slovenská část archivu projektu MALACH (výpovědi svědků holocaustu). Pro trénování akustického modelu bylo anotováno 100 hodin řeči od 400 různých řečníků (pro každého řečníka bylo anotováno pouze 15 minut). Pro úlohu testování bylo kompletně přepsáno 10 výpovědí (5 mužů a 5 žen) s celkovou délkou přes 17 hodin. Při trénování akustického modelu bylo využito hlubokých neuronových sítí (DNN), které obecně zvyšují přesnost rozpoznávání oproti GMM (tj. modelům konstruovaným na základě Gaussových směsí). V navazujícím období bude dále prováděno další zpřesňování akustického modelu a dle potřeby bude využita technika adaptace na hlas řečníka.

Základem pro tvorbu statistického jazykového modelu byly, jako u angličtiny a češtiny, přepisy výpovědí použitých pro trénování akustického modelu. Tento korpus však, bohužel, obsahuje pouze 48k různých slov s celkovým počtem tokenů 0.7M. Vzhledem k podílu OOV slov (slov mimo slovník), který je na zmiňované úloze 6.2%, a také vzhledem k celkové snaze zvýšit robustnost jazykového modelu, bude třeba dodat ke stávajícím přepisům další relevantní data. Podobně jako u předešlých jazyků, tak také u slovenštiny, budou vyselektována vhodná obecná a vhodná doménově orientovaná data (válečná literatura, titulky k válečným filmům, apod.). Také tato činnost bude prováděna v navazujícím období spolu s integrací získaných modulů do hlasového interaktivního systému.

V oblasti počítačové syntézy řeči probíhaly výzkumné a vývojové práce na přípravě modulu syntézy slovanského jazyka (slovenštiny) pro vybranou doménu mluveného slovanského jazyka. S ohledem na cílovou oblast použití bylo třeba řešit především výslovnost nestandardních slov mnohdy cizího původu nebo slov i zcela cizích a integraci s aplikací vlastního archivu. Práce probíhaly též na úpravě prozodických charakteristik řeči vzhledem k cílové oblasti použití. Podobně jako v případě výzkumu a vývoje modulu syntézy angličtiny byla pro účely ladění a snazšího nastavení syntetizátoru pozornost věnována též otevřenosti užívaných algoritmů pro skriptovací jazyky a víceplatformní použití.

Tvorba akustického a jazykového modelu; příprava modulu syntézy řeči a modulu porozumění pro vybranou doménu mluvené angličtiny

V rámci této aktivity byly práce soustředěny na dokončení akustického a jazykového modelu a též modulu syntézy a porozumění řeči, vše pro doménu mluvené angličtiny a úlohu hlasového vyhledávání

v rozsáhlém audiovizuálním archivu výpovědí svědků holocaustu. Tyto moduly budou v rámci návazné Aktivity 4 kompletovány tak, aby byla zajištěna plánovaná funkcionálnost systému.

V hodnoceném období byla konkrétní práce soustředěna na vývoj modulu pro fonémové vyhledávání v „akustických datech“. Jde o využití subslovních jednotek (fonémů) pro vyhledávání slov a frází mimo rozpoznávací slovník. Schopnost zpracovat slova mimo slovník je klíčová, a to jak pro úlohu vyhledávání v rozsáhlých multimodálních archivech, tak i pro úlohu porozumění řeči založené na sémantických entitách.

Přechodem od fonetické reprezentace ke grafémové jsme celý proces vyhledávání slov mimo slovník výrazně zjednodušili. Využitím grafémového vyhledávání jsme mohli eliminovat potřebu znalosti fonetické reprezentace slova, která je pro mimo slovníková slova obtížně odvoditelná (především pak s ohledem na úlohy pracující v reálném čase). Obecnou nevýhodou grafémového přístupu je pak mírné zhoršení přesnosti rozpoznávání. V našem případě to odpovídá poklesu přesnosti přibližně o 2.2% při subslovním a 1.2% při slovním rozpoznávání.

V rámci řešení projektu byla implementována metoda, která je založena na dvoustupňovém přístupu. V prvním kroku je identifikována množina potenciálních výskytů, a ta je následně ohodnocena pomocí skóre, které oceňuje shodu mezi hledanou frází a její akustickou realizací. V této metodě jsou použity tzv. Siamské neuronové sítě provádějící zobrazení z prostoru posloupností grafémů/fonémů do vektorového výslovnostního prostoru. Výsledné skóre daného výskytu je pak spočítáno v tomto vektorovém prostoru. Více detailů je uvedeno v textu, který popisuje dosažený výsledek TE01020197V***.

Pro účely aplikace metod porozumění proběhly práce zaměřené na integraci rozpoznávacího enginu SpeechTech LVCSR přímo do hlasové platformy SpeechCloud. To umožní přímé nasazení libovolného rozpoznávacího kompletu, tj. zkompileované sady akustického a jazykového modelu (vybaveného rozpoznávacím slovníkem) společně s modulem syntézy řeči a technologií pro porozumění řeči.

Kompletace a ověření funkcionality prototypu hlasového interaktivního systému vybrané domény mluvené angličtiny

Aktivita byla zahájena implementací modulu fonémového vyhledávání založeného na subslovních jednotkách za účelem vyhledávání v rozsáhlých hlasových archivech. Tento modul bude využit v rámci interaktivního hlasového systému. Interaktivní systém bude rozšířením stávajícího grafického uživatelského rozhraní využitím moderních webových technologií (HTML5). Související technologie WebRTC poskytuje možnosti pro integraci hlasového a multimodálního rozhraní. Tato technologie je podporována hlavními webovými prohlížeči dostupnými na trhu, nicméně přepokládáme její masivní rozšíření. V průběhu řešení byl kladen zvláštní důraz na modularitu a real-time odezvu celého řešení, což je nezbytná podmínka pro interaktivní hlasový dialog. Modulární návrh zohledňuje požadavky na možnosti interaktivního systému poskytujícího odpovědi jak na jednoduché vyhledávání slov a frází, tak i komplexnější dotazy na bázi znalostí v audio-vizuálním archivu. Typickým příkladem může být využití sémantických entit například v dotazech typu „Kdo se narodil v roce 1915?“.

Výzkum metod porozumění s ověřením na vybrané doméně češtiny

V návaznosti na předchozí výzkum využití metod posilovaného učení pro řízení dialogových systémů byly prováděny experimenty umožňující budoucí použití těchto metod u inkrementálních dialogových

systémů. Zpracování dialogu po menších jednotkách než jsou promluvy umožňuje rychlejší odezvy na vstupy uživatele. Z postupného zpracování vstupu může vyplynout potřeba přerušení uživatele. Pro potřeby inkrementálního přístupu k řízení dialogu tak byly aplikovány metody strojového učení využívající hluboké neuronové sítě na problém detekce vhodného okamžiku přerušení uživatelské promluvy. K dispozici byla data ze zvukových archivů výpovědí svědků holokaustu a archivů bezplatných hovorů obsahujících zvukové nahrávky s 2 kanály; jeden z nich byl záznamem z mikrofону prvního účastníka dialogu a druhý se záznamem z mikrofону druhého účastníka. Vstupem systému byl během prvotních experimentů výstup fonémového rozpoznávače řeči a inkrementální jednotkou tedy byly fonémy.

Na prvotní experimenty pak navázal výzkum využívající přímo zvukový signál převedený do frekvenční oblasti. K trénování klasifikátorů byly využity metody učení s učitelem. Informace učitele byla získána z časově zarovnaných přepisů nahrávek provedených lidskými anotátory. Pokud předpokládáme, že účastníci čekají na vhodný okamžik, kdy druhého přeruší, můžeme začátek těchto úseků použít pro trénování řízení dialogu, které je schopno takový vhodný okamžik odhadnout. Pro trénování klasifikátorů bylo zapotřebí generovat také negativní příklady. Nelze obecně říci, že libovolný okamžik, kdy nebylo anotováno přerušení promluvy, je negativním příkladem. Během trénování však předpokládáme, že takový příklad můžeme získat z dostatečně blízkého okolí několika desítek milisekund před skutečným přerušením. Vstupem pro klasifikaci je posloupnost příznaků předcházející okamžiku přerušení. Výstupem klasifikace je rozhodnutí, zda aktuální okamžik je či není vhodným okamžikem k přerušení. Provedené experimenty ukázaly, že je zvolený model schopný odhadnout okamžik přerušení při inkrementálním zpracování jak z výstupu fonémového rozpoznávače, tak ze samotného zvukového signálu. Zkoumané metody lze zapojit do navazujícího výzkumu pravděpodobnostního řízení inkrementálních dialogových systémů s cílem přirozenějšího dialogu s uživatelem.

Při řešení projektu bylo dosaženo výsledku TE01020197V*** - Článek prezentovaný na mezinárodní konferenci bude diskutovat problematiku vývoje vybraných modulů hlasového interaktivního systému (0 – jiné, termín realizace 12/2017).

Plánovaným výsledkem je konferenční publikace [1], která se věnuje implementaci metody rychlého fonémového vyhledávání slov a frází. Článek poskytuje detailní analýzu trénovacího procesu metody, která je založena na využití Siamských neuronových sítí. Tyto neuronové sítě jsou trénovány za účelem klasifikace stejné příklady vs. rozdílné příklady. Jejich využití pro rychlé fonémové vyhledávání spočívá v zobrazení grafémové reprezentace hledané fráze do vektorového prostoru výslovností. Obdobně je do téhož prostoru zobrazena rozpoznaná posloupnost fonémů. Výsledné skóre ohodnocující shodu mezi dotazem (hledanou frází) a potenciální výskytem je vyčísleno jako kosínová podobnost mezi dvěma vektory ve vektorovém prostoru výslovností. Článek se věnuje především aspektům souvisejícím s trénovacím procesem a následnou implementací - je porovnávána implementace neuronových sítí založených na GRU (Gated Recurrent Units) a LSTM (Long Short-Term Memory), dále je vyhodnocována závislost trénovacího kritéria a míry ATWV (Actual Term-Weighted Value) na množství trénovacích dat a vliv jednotlivých metaparametrů trénovacího procesu na celkovou přesnost fonémového vyhledávání. Výsledky uvedené v publikaci [1] byly použity při implementaci metody pro rychlé fonémové vyhledávání v rámci technologie pro prohledávání rozsáhlých multimodálních archivů.

- [1] ŠVEC, J., ŠMÍDL, L., PSUTKA, J.V.: An Analysis of the RNN-Based Spoken Term Detection Training. SPECOM'2017. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10458, 2017, pp. 119-129. Springer. ISSN 0302-9743

V navazujícím období bude výzkum zaměřen na implementaci laboratorních metod v reálném dialogovém systému a na činnosti vedoucí ke zvýšení přirozenosti celého dialogu s využitím základních principů inkrementálního řízení dialogu. Tyto metody budou průběžně testovány v souvisejících aktivitách.

Další výzkum bude pokračovat finálním laděním parametrů akustického a jazykového modelu, jejich integrací s modulem porozumění řeči a využití jazykových dat v modulu syntézy řeči.

V rámci dalších aktivit budou výsledky propojeny, tj. akustický a jazykový model a dále bude do budovaného prototypu hlasového interaktivního systému integrován modul porozumění s modulem syntézy řeči. Hlasový interaktivní systém bude využívat moderní metody pro rozpoznávání a porozumění řeči založené na kombinaci znalostního a statistického přístupu.

Koncem roku budou zahájeny práce na další aktivitě, konkrétně bude nastaveno chování interaktivního systému a budou hledána jazyková specifika pro přípravu výsledného prototypu pro ověření funkcionality hlasového interaktivního systému na vybrané doméně mluveného slovanského jazyka (mluvené slovenštině).

Další etapa řešení projektu TE01020197 bude v rámci balíčku WP16 využívat úspěšný model spolupráce i pro dosažení návazných cílů projektu. Složení řešitelského týmu se nebude zásadně měnit.

WP17 – Nástroje interakce člověk-robot

V roce 2017 byly řešeny aktivity „Vývoj systému identifikace chyb“, které byly pokračováním činností zahájených v minulém roce a „Návrh a realizace demonstrátoru Systému detekce chyb“.

Vývoj metod pro odstraňování chyb v robotických systémech

V rámci první činnosti byl proveden a sběr dat a realizována řešení pro následující aplikační rozhraní:

- automatický vícekamerový dohledový systém pro detekci a sledování význačných událostí,
- demonstrátor vícekamerového systému pro kontrolu a detekci chyb v průběhu robotické mise,
- automatické uchopování montážních dílů robotickým manipulátorem z přepravního obalu a jejich přenášení a ukládání do zásobníku montážní robotické buňky.

Automatický vícekamerový dohledový systém

V rámci projektu jsme navázali na výsledky z roku 2016 a pokračovali ve vývoji automatického vícekamerového dohledového systému pro detekci zločinného chování ve městě a následného sledování pachatelů. Vyvinuté řešení předpokládá rozmístění otočných kamer ve městě s tím, že kamery nelze polohovat spojitě, ale je možné sledovat pouze předdefinované diskrétní oblasti zachycující části ulic a cest ve městě. Kamery navíc mají definovanou úhlovou rychlost, kterou je omezeno přecházení mezi

jednotlivými sledovanými oblastmi. Díky zavedení diskretních sledovaných oblastí je možné místo kamer uvažovat prostorově nestatická zařízení, jejichž přemístění vyžaduje určitý čas.

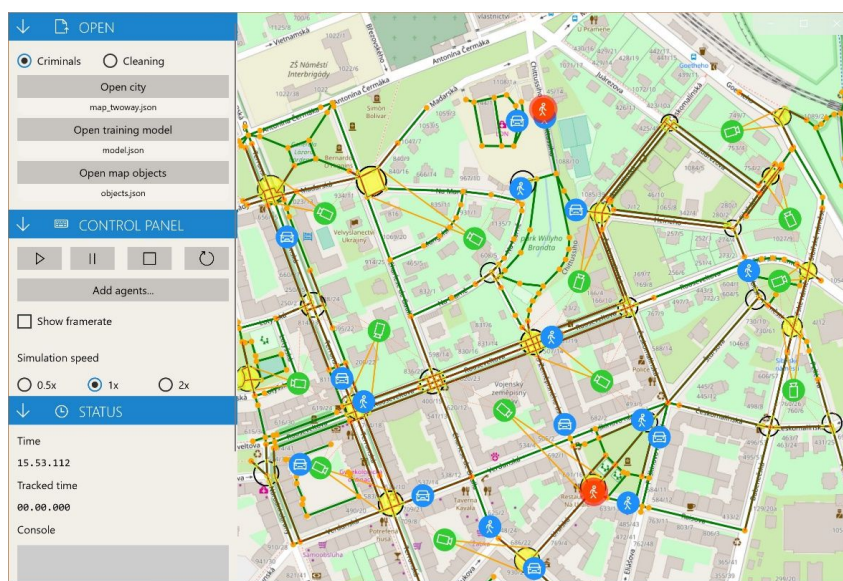
V aplikaci předpokládáme agenty různých typů (chodci, cyklisté, motocykly, vozidla), kteří se pohybují po městě dle naučeného přechodového modelu, viz obr. 17.1. Jednotlivé druhy agentů mají různé vlastnosti pohybu – rychlost, respektování jednosměrných ulic, atp. Agenti pak mohou v průběhu simulace spáchat zločin. Uvažovali jsme nejen různé vzory chování zločinců ale také i různé závažnosti jimi páchaných zločinů, které rozhodovacímu systému umožňují proaktivně přizpůsobovat rozložení kamer. Úkolem systému je v reálném čase rozhodovat, jakým způsobem by měly kamery být natočeny, aby byla co nejvyšší šance, že budou sledovat jednotlivé zločince po co nejdelší časový úsek.

Samotná implementace se skládá ze dvou částí. První je grafický editor, který umožňuje uživateli vybrat oblast, na které bude sledování probíhat. Pro tuto oblast se automaticky načtou mapové podklady z OpenStreetMaps. Následně může uživatel definovat rozložení kamer a jejich sledované oblasti. Výslednou konfiguraci lze exportovat ve formátu JSON kompatibilním se simulací.

Druhou aplikací je samotný simulátor, jehož vstupem je konfigurace prostředí a naučený model pohybu jednotlivých agentů. Lze navolit typ agentů, kteří budou do města umístěni a i vzor jejich chování. Po spuštění simulace se kamery začnou pohybovat dle výpočtu algoritmu, který probíhá v reálném čase ve smyčce na separátním vlákně.

Samotný algoritmus generuje domnělé stavy, ve kterých se mohou zločinci ve chvíli, kdy nejsou sledováni, nacházet. Nad těmito stavy se následně provádí vyhledání optimálního natočení kamer pomocí párování v bipartitním grafu a tzv. problému splňování omezujících podmínek (Constraint satisfaction optimization problem).

V pozdější fázi vývoje byl algoritmus paralelizován a jeho klíčové části optimalizovány, což umožnilo řešit problémy na větších oblastech zahrnujících stovky agentů a kamer.



Obrázek 17.1 – Automatický vícekamerový dohledový systém

Demonstrátor vícekamerového systému pro kontrolu a detekci chyb

Další aktivitou byl vývoj demonstrátoru pro kontrolu a detekci chyb v průběhu robotické mise. Klíčovým prvkem demonstrátoru je realizace automatického vícekamerového dohledového systému představeného výše. Pro účely demonstrátoru byl dále vyvinut nový mód pro kontrolu úspěšnosti průběhu robotické mise včetně nového typu agentů – robotů. Na rozdíl od předchozího scénáře známe v novém módu plán, který mají roboty plnit (typickou úlohou může být např. autonomní úklidu ulic), předem. Plánovací algoritmus poté se znalostí tohoto plánu hledá efektivní způsob, kterým lze orientovat kamery tak, aby ověřovaly samotnou misi a dokázaly se také přizpůsobit odchylkám či náhlým změnám v průběhu jeho vykonávání.

Při vývoji demonstrátoru se podařilo nahradit původně využívanou knihovnu třetí strany pro optimalizační výpočty vlastním algoritmem, což mimo jiné umožnilo převést hlavní knihovnu business logiky do portabilního .NET Standard 2.0., díky čemuž by bylo možné samotný algoritmus a další podpůrné třídy využívat i v mobilních aplikacích nad platformou Xamarin, jako webovou službu pod ASP.NET Core nebo dokonce jako knihovnu .NET Core konzolové aplikace na operačních systémech Linux či macOS.

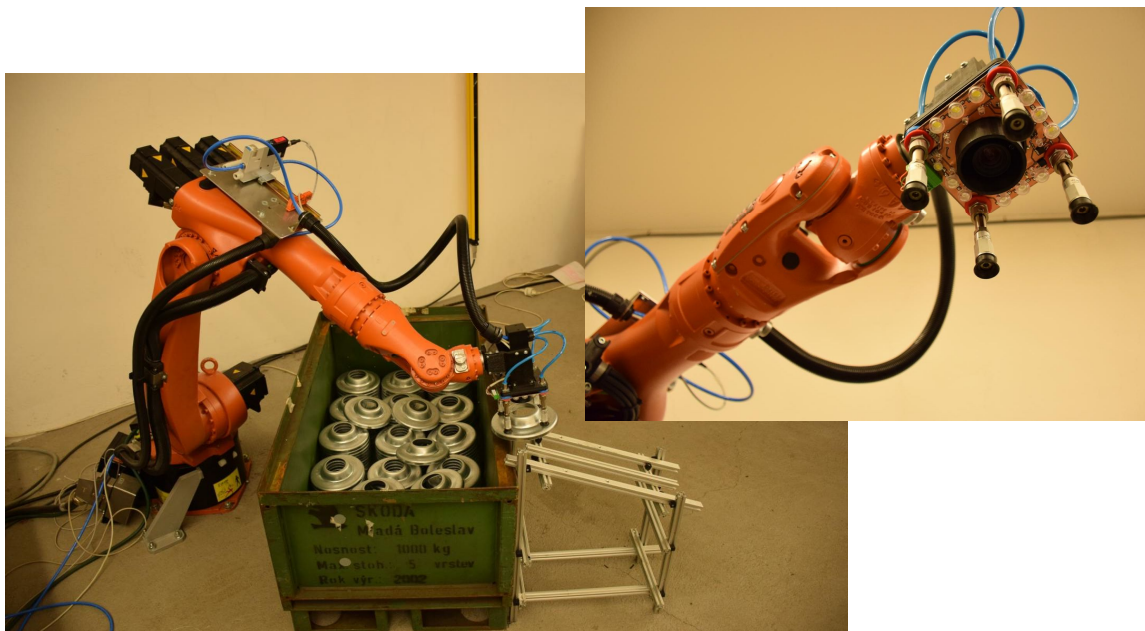
Automatické uchopování montážních dílů

Zcela odlišnou aplikační oblastí je robotické pracoviště řešící úlohu automatického uchopování montážních dílů robotickým manipulátorem z přepravního obalu a jejich přenášení a ukládání do zásobníku montážní robotické buňky, které je realizováno pro Škoda Auto a.s. V rámci pilotního projektu byla řešena hardwarová i softwarová část pro uchopování držáku vzpěry tlumiče robotem Kuka KR 5arc. Pro danou aplikaci byl navržen uchopovací mechanismus se čtyřmi pneumatickými přísavkami a běžnou průmyslovou kamerou. Vlastní rozpoznávání dílu a řízení robotu za účelem uchopení dílu je založeno na zpracování obrazu z této kamery a sekvenci konvolučních neuronových sítí. Návrh z roku 2016 byl v uplynulém období úspěšně realizován a otestován v laboratorních podmínkách. Provedené experimenty ukázaly vysokou úspěšnost uchopení: vyšší než 95% pro součástky s maximálním odklonem od roviny podkladu 5 stupňů a více než 70% pro součástky s odklonem 10-20 stupňů. Úspěšnost uchopení dílu je tak pro standardně naplněný přepravní obal cca 93%, což vysoce přesahuje úspěšnost 70% požadovanou zadavatelem. Čas jednoho cyklu se průměrně pohyboval mezi 35-40 sec, což je méně než požadovaných 60 sekund.

Vývoj systému identifikace chyb a předcházení kolizím

Koncem roku 2017 začala druhá fáze řešení, jejímž výsledkem bude nasazení systému v reálných podmínkách ve Škoda Auto a.s. na jaře 2018. Kromě vylepšování hardwarové i softwarové části, které povedou k větší robustnosti systému a ke zvýšení úspěšnosti uchopení dílu, bude systém portován na cílovou platformu zadavatele - kooperativní robot UR-10 (obr. 17.2).

Hlavním výstupem práce za rok 2017 je softwarová knihovna pro simulaci vícekamerového systému podporující dohledový scénář i mód kontroly a detekce chyb robotické mise, která je vykázána jako výsledek typu autorizovaný software.



Obrázek 17.2 – Kooperativní robot UR-10.

WP18 – Metody strojového vnímání pro průmyslové a jiné aplikace

V roce 2017 jsme v rámci pracovního balíčku 18 řešili úkoly a prováděli činnosti v souladu s plánem. Plánovány byly aktivity v těchto výzkumných oblastech:

- Výzkum a vývoj algoritmů rozpoznávání vhodných pro SLAM
- Zdokonalování algoritmů detekce defektů při použití reflektometrie v kontinuální výrobě
- Vývoj algoritmů měření plastových dílů a materiálů v kontinuální výrobě
- Výzkum a vývoj systému pro řízení dvojrukého manipulátoru s kognitivní zpětnou vazbou

Úkoly vyplývající z aktivit tohoto pracovního balíčku řeší především výzkumný tým ČVUT ve spolupráci s výzkumným a vývojovým týmem CAMEA spol. s r.o. CAMEA spol. s r.o. nahradila v roli hlavního průmyslového partnera firmu Neovision s.r.o., která ukončila svoji činnost. Tato změna se pozitivně projevila zejména v užší spolupráci týmů při implementaci metod a algoritmů v cílových aplikacích. Došlo také ke zvětšení potenciálu pro praktické uplatnění plánovaných výsledků.

Výzkum a vývoj algoritmů rozpoznávání vhodných pro SLAM (současné mapování a lokalizace)

V rámci této aktivity jsme pracovali na rozpoznání 3D objektů při pohybu mobilního robota v přirozeném prostředí. Konkrétním cílem bylo vytvořit 3D sémantickou segmentaci objektů zahrnující statické (budovy, barely, okna) i dynamické objekty (chodci, auta). Na základě této sémantické segmentace získá mobilní robot přesnější přehled o zkoumaném prostředí i možnost lépe odhadnout budoucí chování jednotlivých objektů. To je důležité zejména pro plánování vlastního pohybu. Pro vytvoření této sémantické segmentace jsme vylepšili hlubokou neuronovou síť SegNet pro 2D sémantickou segmentaci obrazů. Časovou řadu těchto segmentovaných obrázků jsme zkombinovali s 3D obrazem získaným z laserového dálkoměru. Výslednou nejpravděpodobnější třídu objektů jsme poté

na základě těchto dat vypočetli pomocí CRF (conditional random fields). Příklady segmentace jsou vidět na obr. 18.1.



Obr. 18.1 – Příklady sémantické segmentace ve snímcích z městského prostředí.

Pro vyhodnocení algoritmu byly naměřeny s mobilním robotem jednotlivé datové sady (převážně ve městském prostředí). Tato data nám umožňují porovnat výsledky 3D sémantické segmentace s výsledky na standardním datové sadě Kitty a našich datech. Část dat jsme také ručně segmentovali pro přesnější vyhodnocení našich experimentů. Experimenty a algoritmy byly popsány v článku: Mapping language to vision in a real-world robotic scenario, který je aktuálně v recenzním řízení s v časopise IEEE TCDS.

Zdokonalování algoritmů detekce defektů při použití reflektometrie a příprava algoritmů pro použití při kontrole kontinuální výroby

V uplynulém období byl zahájen projekt zabývající se vývojem systému pro automatickou kontrolu povrchu lesklých materiálů vyráběných ve formě kontinuálních pásů. Pro inspekci povrchu je plánováno využít principy reflektometrie. Projekt probíhá ve spolupráci s firmou AL INVEST Břidličná, a.s.. Na základě diskuze o kritických problémech výroby byl pro budoucí aplikaci možného nového kontrolního systému zvolen stroj pro lakování hliníkové fólie. V principu tedy jde jak o kontrolu povrchových defektů samotné fólie, tak i o kontrolu kvality nanášení laku.

Na projektu již proběhl nezanedbatelný vývoj. V rámci výrobní linky byla vytipována místa pro instalaci budoucího systému a zjištěny různé omezující faktory, ke kterým bude nutné při vývoji přihlédnout. Na vzorcích celého portfolia výrobků byla provedena důkladná analýza a navržen první koncept osvětlení, který by měl být schopen na základě reflektometrie odhalit všechny kritické problémy materiálu/lakování. V další fázi by měl být proveden sběr reálných dat přímo ve výrobě, na jehož základě bude možné začít připravovat softwarovou část projektu, tzn. hlavně algoritmy pro zpracování dat.

Výběr a vývoj algoritmů pro měření plastových dílů a měření materiálu při kontinuální výrobě

V roce 2017 jsme nadále pokračovali ve výzkumu a vývoji algoritmů pro měření plastových dílů. Realizované laboratorní měřicí zařízení na principu laserového hloubkoměru (LPRF – Laser Plane Range Finder) jsme využili pro měření na reálných plastových dílech (obr. 18.2). Spolu s tím probíhal vývoj a implementace algoritmů kalibrace měřicího zařízení, které jsou nutnou podmínkou přesného měření a je nutné je přizpůsobit podmínkám měření.



Obr. 18.2 – Příklad plastového dílu a naměřených 3D bodů popisujících objekt. Viditelné jsou artefakty vzniklé při detekci stopy laserového paprsku, které se snažíme eliminovat.

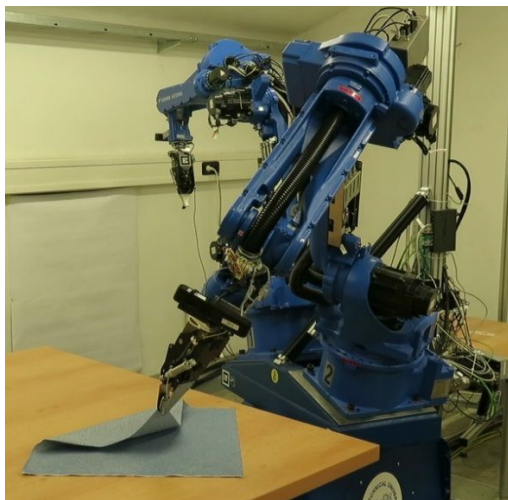
Plastové díly se z pohledu měření vyznačují velkou variabilitou povrchů a barev, která optické metody měření znesnadňuje. Za těchto předpokladů je nesnadné zajistit relativně vysokou požadovanou přesnost měření. Pro přesné měření je klíčová přesnost detekce laserové stopy na povrchu měřeného dílu. Proto jsme se zaměřili také na zlepšení detektoru stopy laseru. Důležitá je minimalizace chybných detekcí, která je založena na geometrických omezeních daných tvarem objektu. Dále pracujeme také s modelem odrazivosti povrchu, který by nám měl pomoci zpřesnit polohu detekované stopy v případě částečně průsvitného povrchu.

V uplynulém období byl zahájen projekt, týkající se vývoje automatického systému pro měření kvality plastových pelet. Úkolem systému je odhalení a eliminace vadných pelet nebo nečistot v kontinuálním proudu materiálu. Systém je koncipován na objem zpracování několika tun materiálu za hodinu, přičemž pro kontaminaci celé várky může být problematické i zanedbatelné množství vadných pelet. V rámci spolupráce s firmou na výrobu plastových výlisků pro automobilový průmysl byla provedena prvotní analýza požadavků na systém pro automatickou kontrolu některých klíčových parametrů a rozměrů jejich výrobků.

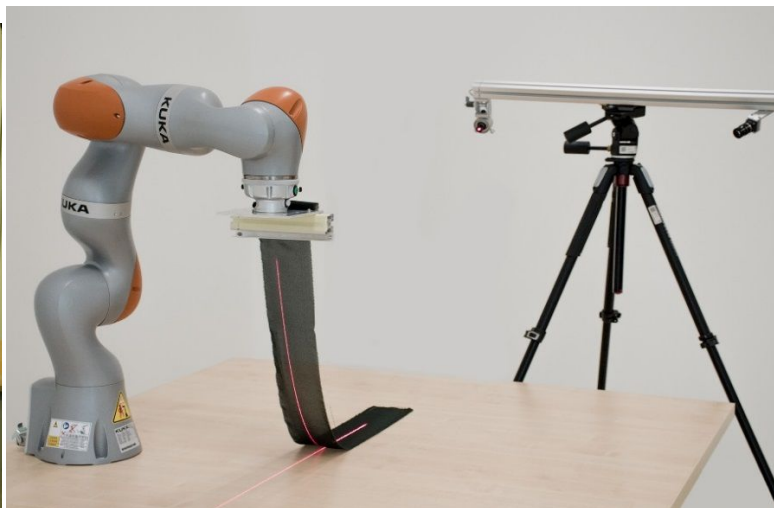
Výzkum a vývoj systému pro řízení dvojrukého manipulátoru s kognitivní zpětnou vazbou

V oblasti robotické manipulace jsme se věnovali návrhu trajektorie pro robotické skládání oblečení. V minulosti jsme navrhli metodu skládání určenou pro základní (pravoúhlé) skládání látky jednoduchého tvaru (např. ručníku). V průběhu roku jsme naši metodu založenou na 2D modelování rozšířili o možnost skládání komplexnějších tvarů (obr. 18.3). Docílili jsme toho vlastní implementací metody konečných prvků s modelem látky označovaný názvem „shell elements“. Tuto metodu jsme publikovali v časopiseckém článku v *Advanced Robotics* pod názvem *Single arm robotic garment folding path generation* [Petrik2017].

Model látky vyžaduje, aby byly známy parametry látky dříve, než zahájíme plánování optimální trajektorie. Parametry látky však často nemusí být známy, nebo je není snadné předem určit. Proto jsme navrhli iterativní proces odhadování těchto parametrů na základě sledování pohybu manipulované látky přímo v průběhu manipulace. Využili jsme k tomu laserový hloubkoměr (LPRF), který byl implementován pro měření plastových dílů, a na základě měření tvaru skládané látky jsou odhadovány její parametry. Trajektorie se v průběhu skládání postupně upravuje podle aktuálního odhadu parametrů látky. Tento proces jsme popsali v článku zaslaném na konferenci *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) 2018* pod názvem *Automatic Material Properties Estimation for the Physics-Based Robotic Garment Folding* [Petrik2018]. Článek byl přijat v lednu 2018.



(a)



(b)

Obr. 18.3 – Manipulace s látkou: a) přehnutí rohu látky realizované dvojrukým manipulátorem, b) odhadování parametrů látky v průběhu skládání (Poloha látky je měřena laserovým hloubkoměrem).

V roce 2017 nebyly plánovány žádné výsledky v rámci tohoto pracovního balíčku. Některé z vyvíjených metod byly publikovány v časopiseckém článku [Petrik2017] a budou prezentovány na konferenci ICRA [Petrik2018]. Záznamy o těchto publikacích budou vloženy do databáze RIV.

Popsané činnosti a aktivity realizované v roce 2017 jsou v souladu s plánem činnosti v tomto období. Úspěšně se rozvíjí spolupráce týmu ČVUT s novým hlavním průmyslovým partnerem firmou CAMEA spol. s r.o., která nahradila společnost Neovision s.r.o. Dosaženo bylo pokroku v oblasti manipulace s měkkými materiály, sémantické segmentace, rozpoznávání a zejména v přípravě implementace kontroly povrchů metodou reflektometrie pro průmyslové nasazení, které je zásluhou především týmu společnosti CAMEA spol. s r.o. Na základě uvedených skutečností můžeme konstatovat, že řešení projektu probíhá úspěšně dle plánu.

V roce 2018 budeme pokračovat ve výzkumu a vývoji v souladu s plánem aktivit pracovního balíčku 18. V následujícím období se zaměříme na implementaci algoritmů SLAM s využitím algoritmů rozpoznávání. Budeme pokračovat také ve vývoji algoritmů rozpoznávání objektů, které je po úpravě možné použít také pro detekci vad povrchů. Při vývoji metod dvojruké robotické manipulace se zaměříme na vývoj s využitím silové zpětné vazby. To je možné díky využití nově pořízených manipulátorů KUKA. V rámci aktivit zaměřených na kontrolu plastových dílů a na kontrolu lesklých povrchů metodami reflektometrie budeme pokračovat v přípravě nasazení těchto metod v průmyslovém provozu. Zejména v této oblasti se spoléháme na rychle se rozvíjející spolupráci s novým hlavním průmyslovým partnerem společností CAMEA spol. s r.o.

[Petrik2017] Petřík, V., Smutný, V., Krsek, P., and Hlaváč, V. (2017). Single arm robotic garment folding path generation. *Advanced Robotics*, 31(24-24):1325–1337.

[Petrik2018] Petřík, V., Cmíral, J., Smutný, V., Krsek, P., and Hlaváč, V. (2018). Automatic material properties estimation for the physics-based robotic garment folding. In *Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*, Brisbane, Australia. (Accepted for publication).

WP19 – Kamerová zařízení a metody analýzy obrazu pro monitorování dopravy a v průmyslu

V pracovním balíčku WP19 jsme i v roce 2017 pokračovali ve výzkumu a vývoji dopravních i průmyslových systémů, příslušného hardware a software a prostředků pro souběžnou lokalizaci a mapování v interiéru budov. Činností pracovního balíčku WP19 bylo v roce 2017 definováno celkem pět a to následovně:

Výzkum, analýza a implementace algoritmů pro dopravní systémy

Tato činnost se zaměřuje obecně na analýzu algoritmů, metod a technik použitelných pro monitorovací, přestupkové a asistenční systémy počítačového vidění v dopravě stejně jako analýza možností implementace na dostupný hardware. Činnost ve sledovaném období pokračovala z předchozích let a bude ještě dále pokračovat. V uplynulém období zejména pokračoval vývoj na systému pro identifikaci jednotlivých železničních vagónů vlakových souprav podle jejich UIC kódů, viz obr. 19.1. Díky úpravám a optimalizaci algoritmů a osvětlovací jednotky se podařilo výrazně zvýšit nejen schopnost lokalizace UIC kódu na daném vagónu, ale i úspěšnost a rychlost jeho správného přečtení. Celková detekční úspěšnost systému se tím dostala k hranici 97% v případě osobních vozů. V segmentu nákladních vozů jsou však podmínky a variabilita UIC kódů výrazně různorodější a vzhledem k aktuálně nedostatečné robustnosti vyhodnocení je zde ještě poměrně velký prostor pro další vývoj.



Obr. 19.1 – Vůz nákladní vlakové soupravy s UIC označením a detail rozpoznávání polohy a typu identifikačních kódů.

Podobně se kontinuálně pokračovalo ve vývoji metod pro další úlohy poč. vidění v dopravě, zejména pro asistenční systémy řidiče a monitorovací přestupkové systémy. Vizuálně lze doložit např. obrázky 19.2. Teoretická část práce byla odvedena zejména v oblasti přípravy dat (vstupních datasetů) pro metody strojového učení např. pro rozpoznání SPZ, dopravního značení či semaforu a dále při samotných simulacích a implementacích vybraných metod (pro představu výběrem: Linear discriminant analysis, Quadratic discriminant analysis, Naïve Bayes, Naïve Bayes Multivariate, Decision Tree, Support Vector Machines).

Výzkum, analýza a implementace algoritmů pro inspekční systémy

Činnosti zaměřené na inspekční systémy se v tomto období týkaly především rozvoje strojové vizuální kontroly kontinuálních pásů a dále pokračování ve slibném výzkumu možností hyperspektrální kamery pro čistě průmyslové i medicínské aplikace v průmyslu.



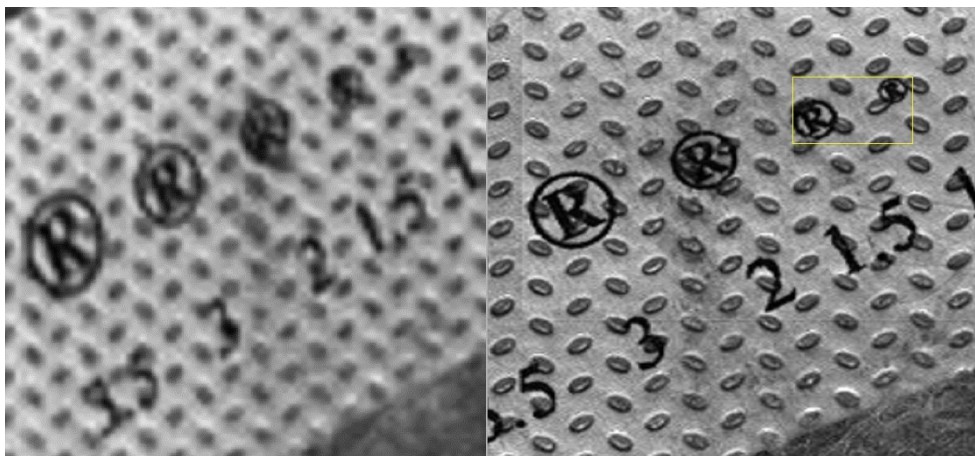
Obr. 19.2 – Ukázka aplikace klasifikátoru typu Naïve Bayes Multivariate na vstupních datech typu SURF významné body obrazu (vlevo) a foto portálu z instalace snímačů monitorovací brány.

V rámci zvýšení rychlosti a přesnosti inspekčního systému UniscanDETECTOR bylo v uplynulém období řešeno několik klíčových bodů. Využití jedné z nejrychlejších řádkových kamer na současném trhu pro defektoskopické vyhodnocení kontinuální výroby sebou nese kromě výrazného zlepšení rozlišovací schopnosti systému i extrémní nároky na algoritmy pro zpracování tak velkého objemu dat (2 GB/s na kameru). Standardní multivláknový přístup už začíná být v tomto případě nedostatečný. Proto se náš vývoj orientuje směrem k mnohonásobnému paralelnímu zpracování dat s využitím speciálních programovacích technik a nástrojů jako IPP a CUDA. V současné době probíhají srovnávací analýzy těchto technologií, viz obr. 19.3. V důsledku integrace nových stále se zrychlujících řádkových kamer do inspekčního systému je nutné úměrně navyšovat také světelný výkon zdroje, který snímanou scénu (materiál) osvětluje. Z toho důvodu je v současnosti vyvíjen nový typ speciální liniové osvětlovací jednotky s plánovaným výkonem až 13.000.000 luxů. Ten by měl podle předpokladů splnit požadavky dané extrémně krátkou expozicí kamerového čipu, která se pohybuje v řádu pouhých několika mikrosekund.

Druhá zásadní část činností pracovního balíčku se zaměřuje na relativně novou aplikační oblast použití hyperspektrálních kamer pro průmyslovou inspekci. Zkoumali jsme zejména snímače na bázi CMOS resp. germania, které se v zásadě liší spektrální citlivostí (600-1000 nm resp. 350-1750 nm). Úkolem bylo a stále je analyzovat vhodná spektrální pásma pro filtry záření aplikované na snímač tak, aby bylo dosaženo maximální účinnosti snímání např. při použití 100 pásem (konstrukce polovodičového snímače s filtry ve vhodně navržené prstorové konfiguraci). V návaznosti na návrh HW pro akvizici snímků na bázi FPGA s Dual Core ARM procesorem jsme pokračovali v implementaci a testování algoritmů vyhodnocení hyperspektrálních dat (zde provázáno se znalostmi kolegů z TU Graz z akce EMVA Forum viz následující kapitoly), které se diametrálně odlišuje od zpracování běžných vícerozměrných dat (hypercube).

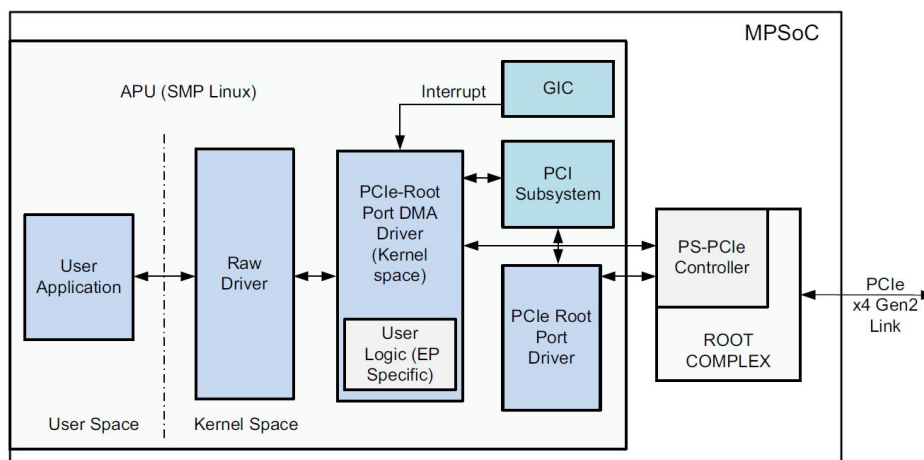
Hardwarové IP jádro pro zpracování a vyhodnocení obrazových dat

V rámci této aktivity je plánováno navržení IP (pozn.: zpracování obrazu) jádra pro zpracování a vyhodnocení základních dat z rychle se pohybujících objektů nebo geometrických primitiv a jádro pro přenos dat mezi kamerovým systémem a řídicím PC. Zásadním parametrem, který se řádově v čase



Obr. 19.3 – Ukázka rozdílu obrazových dat pořízených stávající (70 kHz) a novou (200 kHz) generací řádkových kamer systémy kontinuální kontroly o rychlosti 860 m/s.

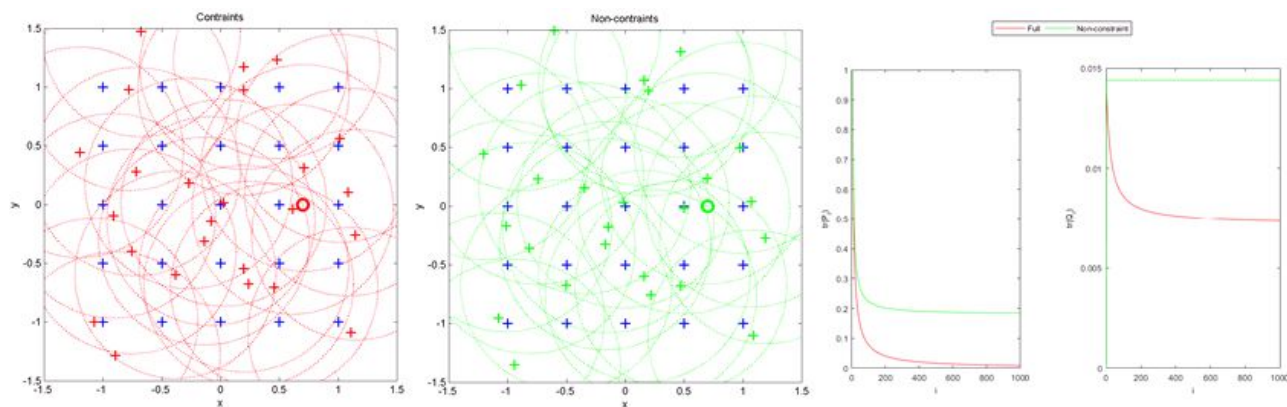
zvyšuje a způsobuje tak potřebu neustálého vývoje, je množství dat pořízených obrazovými snímači. Pro představu, do roku 1998 datové toky těchto zařízení byly cca do 15MB/s na kameru/čip – analogový přenos dat. Do roku 2008 dosahují datové toky 700-800MB/s na čip - digitální přenos dat pomocí rozhraní CameraLink, 3G-SDI (nástup technologie CMOS). Rok 2017 pak eskaluje datové toky přesahující rychlosti 2GB/s na čip – digitální - nestačí 10Gbit Ethernet, využívá se sběrnice PCI Express generace 2 a 3, rozhraní 12G a 24G – SDI (paměti DDR3/4) omezená kapacita - banky SSD. Prvním kritickým prvkem, který byl v rámci této aktivity v daném roce řešen, bylo pochopitelně ukládání dat z kamerových systémů výše uvedených parametrů. Problematické je to zejména u mobilních zařízení (malá hmotnost, omezené zdroje, hodně dat, atd.). Řešení je koncepčně více – od redukce dat, komprese, výběr oblasti ROI, snížení kvality nebo doby záznamu. Konkrétně řešíme danou problematiku využitím NVM Express technologie – bezbolestné je použití PC vybavených tímto rozhraním. Pro mobilní aplikace a drony je ale nevhodné (hmotnost, spotřeba, připojení kamery snímače k PC, spolehlivost ...). Byl navržen koncept HW IP jádra na bázi MPSoC viz obr. 19.4, na kterém dále probíhá další výzkum.



Obr. 19.4 – Technický popis platformy: využívá MPSoC - ZU9EG s 4xARM A53 pracujícím na 1,2GHz, dosažený výkon 1,5GB/s omezený sběrnici PCI Express generace 2. Relativně rozumná doba implementace testovacího systému cca 2 MM. Nevýhodou je relativně složitý, drahý systém s omezením PCI Express gen. 2 (bylo by možné využít PCI Express v FPGA – delší implementace, ale zvýšení propustnosti dat 2x).

Výzkum a implementace metod pro souběžnou lokalizaci a mapování

V rámci této činnosti, která byla v předchozím roce již ukončena (a navazuje na ni další tematicky zaměřená činnost v následujících letech) byly opět zkoumány stávající a zejména vyvíjeny nové algoritmy pro SLAM využívající heterogenní data různých druhů snímačů (konkrétně data plošných snímačů ve viditelném spektru, NIR a LWIR a data z proximitních skenerů na bázi TOF a triangulace). Fúze a zejména následné zpracování takovýchto dat je dosud velmi náročné jak matematicky, tak implementačně, což bylo řešeno aproximací sledovaného prostředí pomocí jednoduchých geometrických elementů (proložení mraku bodů liniovým segmentem apod.). Byla provedena celá řada zejména počítačových simulací algoritmů SLAM – implementace Kalmánova filtru, rozšířeného KF a nově zkoumané verze tzv. unscented KF. Velmi důležité byly výsledky simulačního ověření efektů známých vazeb, viz grafy na obr. 19.5 - bohužel jde jen o jeden snímek časového průběhu simulace přesnosti odhadované polohy (červené a zelené křížky) definovaných pozic v prostoru (modré křížky).



Obr. 19.5 – Simulace iterativní estimace přesnosti stanovení polohy pro definované rozložení bodů v prostoru.

Konzultační, informační a publikační činnost

Z hlediska potřeb projektu sledujeme průběžně důležité, zejména mezinárodní akce (semináře, veletrhy a odborné a vědecké konference) pro zvyšování odbornosti řešitelského týmu. V uplynulém roce jsme se zúčastnili několika jak domácích (např. MSV BVV či konference SoftComputing) tak zahraničních (např. EMVA Forum Vienna, viz foto na obr. 19.6, či TSP konference Barcelona) akcí. Sledujeme pochopitelně trendy v oboru, abychom realizovali pouze špičková zařízení.



Obr. 19.6 – Panelová diskuze CEO a vybraných zástupců předních institucí v oblasti strojového vnímání a zpracování obrazových dat na EMVA Forum (European Machine Vision Association).

V následujícím období neočekáváme v rámci pracovního balíčku WP19 žádné zásadní změny v technické, organizační ani personální rovině. Započaté činnosti na úlohách průmyslové inspekce, dopravního monitoringu, vývoje specializovaného HW i fúze dat heterogenních snímačů pro SLAM plynule pokračují podle předpokladu.

WP20 – Framework pro implementaci technologií AutoID do procesů ve zdravotnictví

Analýza metod dosledovatelnosti zdravotnických (operací) výkonů s využitím technologie NFC

V průběhu roku probíhaly analytické rozhovory se zdravotnickým personálem. Na základě rozhovorů byla vydefinována řada procesů vhodná k automatizaci. Analytický dokument je zaměřen na elektronizaci záznamu intenzivní péče na urgentním oddělení. Dokument obsahuje podrobný metodický popis jejich aktuálních procesů příjmů pacienta, jeho diagnostiky a logistiky pacienta a s tím spojené tvorby nezbytné zdravotnické dokumentace.

Ke konci roku byla také v souladu s harmonogramem dokončena textová podoba výsledku - Analýza metod dosledovatelnosti zdravotnických (operací) výkonů s využitím technologie NFC.

Implementace systému tvorby Záznamu Intenzivní Péče na urgentním příjmu FNO Ostrava

V závěru roku 2017 proběhly přípravné práce na činnosti Implementace systému tvorby Záznamu Intenzivní Péče na urgentním příjmu FNO Ostrava. Příprava spočívala ve sběru dat přímo na urgentním příjmu, jejich analýze a zhodnocení. Byly navrženy, vytvořeny a otestovány dílčí moduly vyvíjeného systému. Hlavní část této činnosti proběhne v souladu s projektovou dokumentací příští rok (2018), ve kterém plánujeme vyvinout kompletní systém a implementovat vybrané funkční subsystémy Záznamu intenzivní péče.

Implementace funkčního vzorku systému pro identifikaci tagu v definovaném prostoru zdravotnického zařízení s využitím technologie RFID

V červnu 2017 bylo v souladu s projektovým harmonogramem dosaženo výsledku funkčního vzorku s názvem: „Implementace funkčního vzorku systému pro identifikaci tagu v definovaném prostoru zdravotnického zařízení s využitím technologie RFID“. Implementace tohoto výsledku byla provedena na dětské chirurgii Fakultní nemocnice Ostrava.

Zhotovený funkční vzorek se sestává z RFID čtečky a antén, které svým dosahem pokrývají vymezený prostor cca 20 m² dětské kliniky ve FN Ostrava plně pokrývající oblasti vchodů. Dále do funkčního vzorku přináležejí RFID tagy o rozměrech 3 x 3 x 0,5 cm s úchytem na zápěstí. Zhotovený RFID tag i technická infrastruktura pracuje na frekvenci 860 – 950 MHz. Součástí funkčního vzorku je rovněž aplikace pro mobilní telefony, která je k dispozici zdravotnickému personálu. Tam přicházejí notifikace (alarmy) pokud dojde k výskytu tagu ve sledované oblasti. Během sledovaného půlročního období systém zaznamenal 300 takovýchto výskytů.

Podrobný popis výsledku včetně fotodokumentace je přílohou této zprávy.

[Analýza a návrh systému pro lokalizaci polohy tagu ve zdravotnickém zařízení s využitím technologie RTLS](#)

V březnu 2017 byla dokončena analýza a návrh systému pro lokalizaci polohy tagu ve zdravotnickém zařízení s využitím technologie RTLS v souladu s projektovým harmonogramem.

V analýze byly zohledněny rozdílné způsoby zjišťování polohy objektu či osoby v předem definovaném a ohraničeném prostoru s využitím moderních technologických platforem bezdrátové komunikace. Klíčovým aspektem bylo určení přesnosti a dosahu jednotlivých metod lokalizace v reálném čase (RTLS), způsob pokrytí prostoru, způsob umístění sledovacího zařízení na sledovaný objekt a možnosti konstrukce a principu funkcionality použitého lokalizátoru.

Existuje rozsáhlá množina možných způsobů určení polohy, kterými se analýza zabývá, jejichž specifika popisuje a porovnává je.

[Implementace systému pro lokalizaci polohy tagu ve zdravotnickém zařízení s využitím technologie RTLS](#)

Od začátku roku také pokračovaly intenzivní práce na výsledcích spojených s analýzou NFC technologie a na implementaci RTLS. Na základě vstupních analýz, experimentů a návrhů bylo vyvinuto a sestaveno prvotní řešení zónového RTLS využívající lokalizaci pomocí IR majáků a datovou komunikaci na 868 MHz. Data získaná HW částí systému jsou uložena na miniPC, odkud jsou předávána ke zpracování a prezentaci formou webového serveru, na základě čehož mohou být zobrazena na široké škále vizualizačních zařízení. Celé řešení v současné době podstupuje testování s cílem odhalení skrytých chyb, ověření výdrže baterií v mobilních jednotkách i kotvách, či získání podnětů pro vylepšení a dalších dat pro budoucí optimalizaci systému.

Během září došlo již k prvnímu zdokonalení tohoto výsledku a byla vytvořena druhá generace těchto zařízení (tag, kotva, brána), každá v pěti kusech. Zároveň byla dokončena a otestována softwarová podpora těchto výsledků umožňující jejich konfiguraci a vizualizaci výstupu dat. Během podzimu tedy probíhalo testování a implementace výsledku v univerzitních prostorách. Koncem roku byl tedy v souladu s harmonogramem dosažen výsledek v podobě systému pro lokalizaci polohy tagu s využitím technologie RTLS. Během následujících let projektu mohou dle plánu vznikat optimalizované a miniaturizované generace toho výsledku a jejich implementace přímo v prostorách nemocnice.

[Návrh struktury frameworku AutoID HEALTHCARE, tvorba nástrojů a postupů a metodiky jeho implementace](#)

Byly započaty práce na návrhu struktury frameworku AutoID HEALTHCARE. Dokončení prací je plánováno na 10/2019.

[Podpora instalovaných funkčních vzorků a jejich kontinuální aktualizace](#)

V souladu s plánem probíhá zdokonalování a aktualizace nasazených řešení, dokončení plánováno na 10/2019.

Důležitý počín v oblasti diseminace výsledků proběhl ve dnech 28. – 29. 11. 2017. Jakub Unucka prezentoval výsledky projektu na odborné konferenci Efektivní nemocnice 2017. Konference se účastnilo 600 odborníků z oblasti zdravotnictví včetně velkého množství ředitelů nemocnic a tehdejšího (JUDr. Ing. Miloslav Ludvík, MBA) i aktuální ministra zdravotnictví (Mgr. et Mgr. Adam Vojtěch).

WP21 – Integrované systémy pro optimalizaci výroby a lidských zdrojů

V tomto období paralelně probíhaly tři aktivity a také bylo dosaženo požadovaného výsledku.

Tvorba webových komponent pro optimalizaci výroby a lidských zdrojů

V rámci této aktivity jsou vyvíjeny komponenty pro webové grafické uživatelské rozhraní. Účelem komponent je vizualizace výsledků optimalizačních algoritmů a interakce s nimi a to tak, aby byly snadno ovladatelné ať již klasickým způsobem (klávesnice a myš), tak i dotykově na přenosných zařízeních jakými jsou tablety nebo chytré telefony.

Jednou z hlavních vyvíjených komponent je modul pro zobrazování a interakci s tabulkovými daty (ve spolupráci VŠB s firmou Merica). Komponentu lze využít např. v systému určeném k rozvrhování směn zaměstnanců, kde na základě definovaného datového modelu je vytvořena tabulka znázorňující přiřazení směn jednotlivým zaměstnancům. V tomto roce byla implementována funkce “search&replace”. Zároveň byla rozšířena dokumentace aplikačního rozhraní a také byly opravovány chyby.

Také vyvíjíme komponentu umožňující rozdělení grafického rozhraní aplikace na několik oddělených částí. Tyto části lze libovolně skrývat, uživatelsky jim měnit přidělenou velikost pomocí posuvníků a také dynamicky přeskupovat. V tomto roce byla tato komponenta převedena do jazyku TypeScript a dále byla implementována konfigurace rozložení částí přes JSON objekt. Zároveň byly také opravovány chyby.

Tvorba komplexních algoritmů pro rozvrhování výroby a lidských zdrojů

V rozvrhování lidských zdrojů probíhal výzkum v integraci metod strojového učení do exaktního algoritmu Branch-and-Price pro problém rozvrhování lidských zdrojů. Myšlenka je založena na odhadování horního omezení pro Pricing problém na základě předchozích běhů. Vzhledem k tomu, že Pricing problém typicky bývá řešen pomocí celočíselného lineárního programování, těsný horní odhad může výrazně urychlit jeho řešení. Pomocí této integrace se nám podařilo dosáhnout 40% snížení celkové doby běhu algoritmu, aniž by byla kompromitována optimalita výsledných řešení. Výsledky výzkumu byly poslány do časopisu European Journal of Operations Research a nyní jsou v recenzním řízení.

V rozvrhování výroby letos probíhalo paralelně několik směrů:

1. Robustní rozvrhování s ohledem na 15-minutová maxima: Dle dohody s poskytovatelem elektřiny si firmy nasmlouvají výši tzv. 15-minutového maxima, což je maximální povolená spotřeba energie v 15-minutových intervalech. V případě překročení je firma pokutována

vysokou částkou, která je úměrná množství nadlimitně spotřebované energie. Vyvinuli jsme algoritmus, který navrhne výrobní plán splňující tato maxima a zároveň je robustní i vůči neočekávaným zpožděním ve výrobě. Výsledek výzkumu, který je nad rámec výsledků projektu, letos vyšel v impaktovaném časopisu *Computers & Industrial Engineering*.

2. Minimalizace spotřeby energie pomocí operačních módů strojů s různou spotřebou: V tomto optimalizačním problému uvažujeme, že výrobní stroje mohou pracovat v různých operačních módech s různou spotřebou elektřiny. Ve chvíli, kdy stroj nezpracovává žádnou operaci, dává smysl přejít z výrobního módu s vysokou spotřebou do klidového módu s nízkou spotřebou a tím šetřit energii. Cílem je určit operační módy strojů a rozvrh daných operací tak, aby všechny byly stihnuty včas (s ohledem na požadovanou dobu dokončení) a spotřeba energie byla minimalizována. Problém je komplikován faktem, že v reálné výrobě nejsou přechody z jednoho módu do jiného zanedbatelné (z pohledu doby přechodu a spotřebované energie) a je nutné s nimi při návrhu rozvrhu počítat.
3. Integrace strojového učení do algoritmů rozvrhování výroby: Na základě velmi pozitivních výsledků využití strojového učení pro zrychlování algoritmů rozvrhování lidských zdrojů zkoušíme podobné metody aplikovat i pro rozvrhování ve výrobě. Pro rozvrhovací problém s kritériem "total tardiness" (suma opoždění operací vzhledem k jejich plánovanému termínu dokončení) jsme schopni pomocí integrace hlubokého učení v state-of-the-art dekompozičním algoritmu dosáhnout řešení, jejichž hodnota kritéria je velmi blízká optimu (0.03% optimální hodnoty).
4. Plánování trajektorie pro autonomní roboty pohybující se na pracovištích: V rámci vývoje autonomních robotů pro výrobu byla provedena implementace RRT (Rapidly-exploring Random Trees) frameworku pro plánování trajektorie. RRT je datová struktura, která díky náhodnému chování dovoluje opustit lokální minima. V rámci frameworku bylo potřeba implementovat simulátor obsahující model autonomního robota, regulátor rychlosti a regulátor zatáčení.

Implementace integrovaných systémů pro optimální využití zdrojů ve výrobě a službách

V rámci budování univerzálního řešení pracovala společnost Merica na implementaci systému pro správu optimalizačních procesů odehrávajících se během plánování výroby. Ve spolupráci s VŠB byla provedena analýza požadavků na systém, který by umožnil nakonfigurovat optimalizační procesy specificky pro každou výrobní společnost. V rámci optimalizačních algoritmů byla firmou Merica implementována interpretace kódu na základě požadavků dané společnosti, je tedy možné bez nutnosti znovu-nasazení systému měnit logiku algoritmů.

Společnost Merica dále rozšiřovala modulární koncepci řešení a to implementací nových modulů Skladník a Technolog. Modul Skladník informuje skladníky o tom, ke kterým strojům a v jakém množství mají zavážet materiál zavážet, aby vše probíhalo v souladu s daným výrobním plánem. Naproti tomu modul Technolog pomáhá s tzv. normováním výrobních časů, kde na základě zhlášených operací jsou počítány normy operací, od kterých se odvíjí finanční ohodnocení dělníků. Modul je schopen pomocí metod robustní regrese spočítat přípravný čas a jednicový výrobní čas každé operace. Technologovy jsou následně vypočítané normy zobrazeny v tabulce, kde je může odsouhlasit či zamítnout.

Výsledek projektu:

TE01020197V011 - Knihovna komponent a kombinatorických algoritmů pro integrovaný systém

Pro zveřejnění námi vyvinutých kombinatorických algoritmů a komponent jsme implementovali webovou aplikaci. Aplikace obsahuje filtrovatelný seznam komponent a algoritmů, z nichž některé je možné vzdáleně spouštět na definovaných benchmarkových instancích. Webové komponenty mají k sobě přidruženou demo stránky, na kterých je ukázána jejich základní funkčnost. Pro vývoj aplikace byl použit webový framework Django postavený na programovacím jazyce Python a algoritmy jsou spouštěny pomocí kontejnerizační technologie Docker.

Pro další informace viz “Příloha k Odborné zprávě”.

V dalším období společnost Merica ve spolupráci v VŠB ověří správnost výběru integrací Windows Workflow Foundation se stávajícím řešením. Integrace umožní nastavit optimalizační procesy na míru jednotlivým výrobním společnostem, dohlížet na průběh jejich vykonávání. Rádi bychom se zaměřili i na integraci s výrobními procesy navazujícími/předcházejícími optimalizací výroby, např. vyskladnění materiálů nebo dílenské řízení výroby.

V rámci algoritmů a komponent provedeme testování a v případě nutnosti jej zobecníme. Např. v rámci rozvrhování s minimalizací spotřeby energie pomocí operačních módů strojů upravíme metodu tak, abychom byli schopni řešit větší instance. Webovou komponentu spreadsheet rozšíříme o další funkcionalitu, např. možnost zadávat libovolné filtrovací výrazy a zobrazování sumárních hlaviček v sloupcích.

WP22 – Modulární systém pro monitorování, řízení a optimalizaci výrobních procesů

Aktualizace a kompletace softwarových nástrojů pro monitorování a řízení

V reportované etapě řešení probíhaly práce na rozšíření a aktualizaci softwarových nástrojů pro monitorování a řízení procesů distribuovaného charakteru. Konkrétně byly řešeny následující problémy z oblasti hutního průmyslu:

Návrh redukováného modelu procesu kontilití

V daném roce pokračovaly práce na vývoji 3D matematického modelu pro estimaci rozložení teplotního pole uvnitř ocelové bramy v závislosti na parametrech procesu a vlastnostech materiálu. Primárním cílem bylo navrhnout model redukováného řádu tak, aby jej bylo možné implementovat v rámci monitorovacího systému procesu kontilití v reálném čase. Výsledná verze navrženého modelu byla validována pomocí CFD modelů komplexního charakteru. Daný model byl posléze implementován v C++ do podoby softwarového modulu, a to včetně uživatelského rozhraní pro parametrizaci a zobrazení výsledků. Základní verze SW modulu byla postupně zdokonalována zakomponováním dalších funkcionalit, např. pro zohlednění vlivu teploty na parametry procesu a fyzikální vlastnosti lité oceli. Ve finální části etapy byla do modelu přidána funkcionalita, která umožňuje výpočet mezní teploty tekutého jádra bramy v závislosti na chemickém složení oceli a tepelné vodivosti.

Návrh řízení hydropohonu válcovací stolice

V dané etapě řešení byly dokončeny práce na návrhu a implementaci algoritmu pro optimální řízení elektro-hydraulického servopohonu (dále hydropohonu) válcovací stolice s uvažováním proměnnosti

parametrů systému. Klíčovým aspektem bylo dosažení robustnosti vůči proměnnosti modulu pružnosti pohyblivých částí hydropohonu s uvažováním typických nelinearit daného procesu (zejména tření a stlačitelnosti hydraulického oleje). Daný model slouží primárně pro účely parametrizace PID regulátoru, který byl rozšířen o kompenzaci wind-up efektu při otevření a zavření rozváděče hydropohonu. Dále byl navržen tvarovač signálu pro otevření a zavření rozváděče hydropohonu pro účely hladkého polohování pístu, tj. bez překmitu. Tvarovač byl navržen s kompenzací odmocninové nelinearity hydropohonu. Vyvinutý řídicí algoritmus předpokládá i existenci necitlivosti šoupátka rozváděče hydropohonu. Účinnost navržených algoritmů byla ověřena na reálných datech získaných měřeními na reálné válcovací stolici.

Návrh metod a implementace softwarových nástrojů pro optimalizaci výrobních procesů

Paralelně k výše uvedené aktivitě probíhaly práce na využití matematických modelů a systémů řízení k optimalizaci výrobních procesů. S využitím dříve sestavených modelů, nebo v návaznosti na ně, byly řešeny následující problémy:

Moduly pro optimalizaci válcovacích procesů

V rámci dané problematiky byl výzkum a vývoj zaměřen na návrh a implementaci modulů pro predikci jevů během válcování za tepla a za studena s využitím pro následnou optimalizaci technologického postupu. Nejprve byl rozšířen dříve navržený systém řízení válcovací stolice pro aplikaci v reverzním válcování. Systém byl dále doplněn o model teplotní bilance při navíjení materiálu do svitku mezi jednotlivými úběry. Tato operace se využívá zejména pro válcování dlouhých pásů na reverzní válcovací stolici při válcování za tepla. Na rozdíl od běžného reverzního válcování, kdy materiál mezi úběry chladne na dopravníku, bylo zapotřebí uvažovat kontakt a přestup tepla mezi jednotlivými vrstvami navinutého plechu do svitku. Dále byl navržen a implementován model pro monitorování teplotní bilance ve válcovací mezeře. Účelem modelu je odhad množství přestupu tepla mezi materiálem a pracovními válci. Materiál ve válcovací mezeře se zároveň ohřívá přetvárnou prací a zároveň chladne kontaktem s pracovními válci. Kromě povrchové teploty pracovního válce, která je důležitá pro celkovou teplotní bilanci, navržený model odhaduje teplotu v celém objemu válce. Na základě odhadovaného teplotního profilu je následně provedena korekce průřezu válcovací mezery kompenzující změnu průměru pracovního válce vlivem teplotní roztažnosti. Navazujícím modelem je model průhybu a zploštění pracovních a opěrných válců. Tento model využívá metody konečných prvků pro stanovení deformace válců. Dále model predikuje rozložení válcovací síly na průřezu válcovací mezerou. Výsledkem modelu je tvar válcovací mezery během válcování, který je využit pro stanovení finálního profilu materiálu na výstupu z válcovací mezery. Výše uvedené modely byly testovány a laděny na dostupných datech z reálného provozu, jak spojitě, tak i z reverzní válcovací tratě. Modely vykazují relativně spolehlivé výsledky. Celý systém bude potřeba doplnit o výpočet finálního profilu materiálu a následně doplnit celou metodu o robustní adaptaci. Tyto funkcionality budou doplněny v rámci následných aktivit WP22.

Řízení procesu válcování s kompenzací zpoždění a excentricity válců

V další aplikaci z oblasti válcování byla řešena problematika kompenzace dopravního zpoždění, které vzniká mezi pracovními válci a senzorem tloušťky plechu. Dané zpoždění je dominantní v porovnání s dynamickými vlastnostmi samotného polohování válců a jeho úspěšná kompenzace je klíčová pro efektivní řízení tloušťky plechu. Důležitým aspektem je proměnnost zpoždění v závislosti na rychlosti posuvu plechu. Po důkladné analýze, která proběhla již v roce 2016, byla pro řešení kompenzace

v systému řízení zvolena a následně implementována metoda řízení založená na vnitřním modelu. Proměnnost zpoždění v čase byla vyřešena přepočtem časově závislých veličin na veličiny, jejichž proměnnou je poloha. V důsledku je (polohové) zpoždění uvažováno jako fixní, což je výhodné pro jeho implementaci v modelu a následnou kompenzaci. V další fázi byla důkladně analyzována metodika tzv. repetitivního řízení pomocí algoritmů se zpožděním, která se používá na potlačení poruchových veličin periodického charakteru. Cílem bylo aplikovat tuto metodiku pro kompenzaci excentricity válců, která má právě charakter periodické poruchy. Významným výsledkem dané části aplikovaného výzkumu je implementace obou klíčových požadavků, tj. požadavku na kompenzaci zpoždění a požadavku na kompenzaci excentricity válců, do jednoho regulačního schématu. Celkový algoritmus byl úspěšně validován na reálných datech a byla provedena jeho implementace v jazyku C.

Optimalizované algoritmy řízení pro systémy distribuovaného charakteru

I v dané etapě byla část aktivit zaměřena na parametrizaci PID regulátorů pro systémy distribuovaného charakteru. Zejména proběhla optimalizace parametrů PID regulátoru s filtrem měření, kde časová konstanta filtru byla hlavním parametrem optimalizace k nalezení optimálních a zároveň dominantních pólů předepsaných systému s podstatným zpožděním. Bylo využito podobnostního modelování regulační smyčky, aby bylo dosaženo zobecněné optimalizace. Další aktivita v této oblasti byla zaměřena na optimalizaci kompenzátoru wind-up efektu PI regulátoru a regulátoru s vnitřním modelem, v aplikaci na řízení systému s výrazným dopravním zpožděním.

Níže specifikované výsledky dosažené v řešených aktivitách jsou plně v souladu s návrhem a časovým plánem projektu pro WP22. Výsledky jsou podrobně popsány jako samostatné přílohy.

2xD – článek ve sborníku (plán 1xD, druhý D nad plán návrhu projektu)

- Fišer, J. – Zítek, P. – Vyhlídal, T.: Dominant four-pole placement in filtered PID control loop with delay. 20th IFAC World Congress, 9-14 July, 2017, Toulouse, France, IFAC PapersOnLine 50-1, pp 6501-6506
- Bušek J. - Vyhlídal, T. - Zítek, P.: IAE based tuning of controller anti-windup schemes for first order plus dead-time system, 21st International Conference on Process Control (PC), Štrbské Pleso, Slovakia, DOI: 10.1109/PC.2017.7976182

1xJimp – článek v impaktovaném časopise

- Fišer J. – Zítek P. – Skopec P. – Knobloch J. – Vyhlídal T.: Dominant root locus in state estimator design for material flow processes: A case study of hot strip rolling, ISA Transactions, 68 (2017), 381-401.

1xR – Softwarové moduly pro optimalizaci výrobních procesů.

V souladu s návrhem projektu, budou v roce 2018 zahájeny následující aktivity projektu:

Návrh komplexních algoritmů pro optimalizaci řízení distribuovaných výrobních procesů

V návaznosti na předchozí aktivity, bude provedeno rozšíření softwarové knihovny o moduly pro zpracování objemných dat v informačních systémech průmyslových podniků. Dále budou vyvinuty simulační nástroje a modelovací postupy pro potřeby plánování výrobních procesů a procesů zásobování. Budou též vyvinuty algoritmy a nástroje pro optimalizaci výrobních celků a to zejména v závislosti na sledování kvality meziproduktů. Aktivita bude zahrnovat též postupné zdokonalování již vyvinutých softwarových modulů v předchozích etapách projektu.

Návrh, implementace a testování systému pro integraci navržených softwarových modulů

V rámci finální aktivity balíčku dojde k návrhu a implementaci systému pro integraci softwarových modulů navržených a aplikovaných především v rámci balíčků 11 a 22. Součástí činností bude též simulační, laboratorní a provozní testování dosažených výsledků.

Aktivity budou směřovány k dosažení plánovaných výsledků:

2 x D – článek ve sborníku (1xD 2018, 1xD 2019)

1 x Jimp - článek v impaktovaném časopise (2019)

1 x R - Modulární softwarová platforma pro monitorování, řízení a optimalizaci distribuovaných výrobních procesů (2019)

WP23 – Management projektu

Tým managementu pracoval od 1. 1. 2017 ve složení, které je uvedeno v návrhu projektu:

prof. Ing. Vladimír Kučera, DrSc., dr. h. c., manažer projektu,

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc., koordinátor cíle 1,

prof. Ing. Vladimír Mařík, DrSc., dr. h. c., koordinátor cíle 2,

prof. Ing. Václav Hlaváč, CSc., koordinátor cíle 3,

prof. Dr. Ing. Zdeněk Hanzálek, koordinátor cíle 4,

Mgr. Jana Bartáková, finanční manažerka projektu,

Monika Hübnerová, sekretářka projektu.

Od 1. 6. 2017 byl prof. Ing. Michael Šebek, DrSc. pověřen jinými úkoly a na jeho místo nastoupil Ing. Jaromír Fišer, Ph.D.

Seminář a Rada CAK

Uskutečnila se pravidelná jednání na všech řídicích úrovních. Uskutečnila se plánovaná činnost „Seminář a Rada CAK“. Seminář projektu se uskutečnil v hotelu Dominant v Rakvicích ve dnech 12. -13. 9. 2016 a přispěl k vzájemné informovanosti týmů a ke koordinaci řešení projektu. Jednání Rady projektu proběhlo v rámci semináře dne 12. 9. 2017. Manažer projektu informoval o postupu insolvenčního řízení s firmou Neovision s.r.o., která byla v projektu nahrazena firmou CAMEA spol. s r.o. Informoval též o souhlasu poskytovatele s tímto řešením a s požadavkem poskytovatele vyřešit vlastnická práva k výsledku dosaženému v roce 2015 ČVUT v Praze společně s Neovision s.r.o. Insolvenční řízení nebylo do konce roku 2017 ukončeno.

Projekt bude postupovat v dalším období podle schváleného plánu prací.