

Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2013

Příloha k průběžné zprávě za rok 2013

Číslo projektu: TE01020197

Název projektu: Centrum aplikované kybernetiky 3

Předkládá:

Název organizace: České vysoké učení technické v Praze

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

Obsah:

V Odborné zprávě popište průběh řešení projektu se zdůrazněním podstatných skutečností, které během hodnoceného roku nastaly.

Zpráva by měla korespondovat s návrhem projektu, měla by být zaměřena především na způsob řešení, požadované cíle (dílčí dílčí) a výsledky dle kategorie RIV. Obrázky, grafy nebo tabulky jsou jako doplňující část odborné zprávy velmi přínosné.

Na závěr sumarizujte očekávaný průběh dalšího řešení se zdůrazněním podstatných skutečností, které se během nadcházejícího roku očekávají.

Doporučený počet stran 30 až 60.

Pracovní balíček 1

Modelování celoevropského modelu trhu s elektřinou zahrnující fyzikální model přenosové sítě

1 Popis činností

V rámci řešení úkolů v pracovním balíčku 1 probíhaly následující činnosti:

Implementace prototypového modelu

- Dokončení implementace prototypu modelu trhu v prostředí Matlab
- Portování prototypu z prostředí Matlab do jazyka C# a platformy .NET
- Rozšíření prototypového modelu o moduly modelující plánované odstávky výrobních bloků a vynucené odstávky (poruchy) bloků.

Testování a verifikace modelu z hlediska rychlosti a přesnosti výpočtu proti stávajícím řešením

- Testování prototypu porovnáním se stávajícími metodami a nástroji modelování trhu s elektřinou v evropské elektrizační soustavě
- Testování C# prototypu proti stávající verzi programované v prostředí Matlab

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Prototyp celoevropského modelu trhu s elektřinou s přibližným modelem přenosové soustavy

Milníku bylo dosaženo, prototypový model byl implementován, viz popis v následujících odstavcích.

2b Dílčí cíle

Návrh a implementace prototypu celoevropského modelu trhu metodami celočíselného lineárního programování

Cílem je návrh celoevropského modelu trhu metodami celočíselného lineárního programování. Model trhu bude zohledňovat omezení dané fyzikálními vlastnostmi přenosové sítě ve zjednodušené formě a to jako zadané limity přeneseného výkonu po lince přenosové soustavy nebo zjednodušeným modelem sítě - DC Load Flow. Dílčí cíl bude zpracován do podoby prototypu, který bude testován a porovnáván s výsledky, kterých je dosaženo na stávajících nástrojích pro analýzu chování trhu a přenosových sítí.

Dílčí cíl byl splněn. Navržený prototypový model s funkcionalitou podle zadání dílčího cíle byl implementován. Výsledný prototypový model má podobu sady knihoven implementovaných v prostředí platformy .NET a je doplněn grafickým uživatelským rozhraním, které umožňuje práci se vstupními daty a vizualizaci výstupů modelu.

2c Dílčí výstupy

Prototypový software modelu trhu s přibližným modelem sítí

Výstupem bude prototypový model celoevropského trhu s elektřinou. Prototyp bude obsahovat zjednodušený model přenosové soustavy.

Dílčího výstupu bylo dosaženo. Byl ukončen vývoj a testování modelu s přibližným modelem přenosové sítě. Nad rámec plánu postupu projektu prototyp obsahuje zjednodušený DC Load Flow model toku výkonu v přenosové síti, který bude dále vyvíjen v následujících fázích projektu.

Prototyp prošel intenzivním testováním v součinnosti s potenciálním odběratelem, operátorem české přenosové soustavy. Výstupy modelu byly porovnávány s výstupy, kterých dosahují stávající nástroje na modelování trhu s elektřinou obsahující modely elektrizační sítě. Vyvíjený prototyp oproti stávajícímu řešení nabízí podrobnější možnosti modelování výrobních bloků. Obsahuje detailní model vodních akumulacích a přečerpávacích elektráren. Částečnou nevýhodou modelu je závislost výpočetní složitosti na vstupních datech. Dominantní výhodou je použitý zjednodušený DC Load Flow model toku výkonu v síti.

2d Výsledky dle kategorie RIV

[1] Zábojník, J., Dvořák, M.: Power grid simulation model for long term operation planning, in Chemical Engineering Transactions, vol. 35. AIDIC, Milano, IT, 2013, pp. 1105–1110

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V následujícím roce očekáváme průběžné plnění projektu v souladu s cíli uvedenými v návrhu projektu, tj. dokončení finálního modelu přenosové sítě s DC Load Flow metodou modelování toků výkonu a implementace tohoto modelu do vyvíjeného prototypového SW.

Pracovní balíček 2

WAMS rádce operátora evropské elektrické přenosové sítě pro účely zvýšení stability a spolehlivosti

1 Popis činností

V letošním roce řešení projektu byly navrženy metody pro estimaci ampacity a jejich ověření na relevantních datech získaných z měření sítě pomocí PMU. Také bych vytvořen prototyp odhadu a predikce ampacity a prototyp trigrování událostí v elektrických sítích.

Návrh metod monitoru ampacity a detektoru stavů a událostí

Byl navržen monitor ampacity elektrických vedení přenosové soustavy využívající jednak synchronizovaných měření fázorů napětí a proudů jednotkami PMU z obou konců monitorovaného vedení, a dále pak meteodata z oblasti, kterou dané vedení prochází. Cílem monitoru ampacity bylo stanovení aktuální rezervy proudového zatížení sledovaných vedení při respektování současného a očekávaného budoucího vývoje počasí. Ke stanovení zatížitelnosti vedení byl podle standardu IEEE 738TM-2006 navržen model vedení zohledňující vlivy okolního prostředí, jako jsou okolní teplota, rychlost a směr větru a intenzita slunečního záření. Mezi hlavní výhody navrženého modelu lze řadit možnost zpřesnění parametrů vedení, zejména pak referenční hodnoty odporu vedení, a odhad okamžité průměrné teploty vedení.

Jádrem navrženého monitoru ampacity je algoritmus odhadu aktuálních hodnot parametrů vedení využívající rozšířeného Kalmanova filtru, který umožňuje nejen získat zpřesněné odhady parametrů vedení v reálném čase, ale také snížit vliv chyb měření na získané hodnoty. Kromě poskytování kontroly nad dodržením povoleného ohřevu vodičů, monitor ampacity také poskytuje informace o maximální statické zatížitelnosti vedení vzhledem k predikci vývoje počasí v oblasti, kterou sledované elektrické vedení prochází.

Navržený monitor ampacity byl implementován ve vývojovém prostředí MATLAB a jeho funkce byla ověřena na případové studii realizované na reálných datech z přenosového vedení 110kV.

Výzkum pokročilých metod pro detekci a následnou lokalizaci zkratu v elektrizační soustavě se zaměřil na využití časo-frekvenčních metod s neharmonickou bází. Testovány byly vlastnosti především diskrétní waveletové transformace a její modifikace - MODWT (maximum overlap discrete wavelet transform), která vykazuje z pohledu analýzy zkratu z napěťových a proudových signálů doposud nejlepší výsledky. Použití této metody předpokládá nepřetržité měření průběhu proudu (či napětí) na různých místech elektrizační sítě. Metoda založená na MODWT dokáže jak detekovat poruchu, tak ji i lokalizovat.

Algoritmus MODWT byl implementován v programovém prostředí Matlab a vlastnosti metody pro detekci a lokalizaci zkratu byly ověřovány na modelu el. sítě v SW nástroji Sim Power Systems. Vzhledem k rychlosti šíření vzruchu v síti (přibližně 98% rychlosti světla) souvisí přesnost lokalizace mimo jiné i se zvoleným vzorkováním signálů v měřených místech sítě. Metoda MODWT byla testována pro vzorkovací frekvence v řádech kHz až MHz. Současně byla metoda použita na analýzu archivu dat měřených v elektrizační soustavě. Pro potřeby provozovatele sítě jsou ovšem monitorovány fázory (amplitudy a fáze) s frekvencí pouze 50Hz. Analýzou fázorových dat byl získán signál, který lze s obtížemi použít k detekci zkratu, lokalizace není vzhledem k nízkému vzorkování možná. Z tohoto důvodu bude v příštím roce pro mobilní modifikaci jednotek PMU implementována funkcionality tak, aby byly v případě detekce události uloženy okamžité hodnoty napětí a proudů se vzorkovací frekvencí 10kHz v časovém okně několika sekund před událostí a po události.

Výzkumný tým se také zaměřil na detekci dalších událostí a stavů sítě, které indikují sníženou stabilitu sítě. Tyto události jsou detekovány na základě měření synchronních fázorů napětí a proudu v různých částech sítě. Těmito události jsou:

- nadlimitní rozdíly úhlů fázorů napětí v různých místech sítě – událost nastane v případě, že rozdíl úhlů dvou fázorů přesáhne danou mez,
- ostrovní provoz části nebo celé monitorované sítě – detekce je založená na překročení mezí rozdílu úhlů fázorů a rozdílu frekvencí v jednotlivých místech sítě,
- zvýšené oscilace kmitočtu sítě – monitoring oscilací je založen na spektrální analýze frekvence soustavy,
- snížení rezervy statické stability a snížení rezervy napěťové stability – detekce je založena na modelu statické a napěťové stability, ze kterých je určen maximální výkon, který je možné přenést do místa v síti. Na základě znalosti maximální hodnoty je možné určit rezervu a detekovat události definované jako pokles rezervy pod danou mez.

Off-line testování metod monitoru ampacity a detektoru stavů a událostí

Monitor ampacity byl testován na naměřených datech ze systému WAMS nasazeného na síti VN 110kV. Metoda detekce a lokalizace zkratu byla testována na simulovaných datech. Testování detekce ostatních událostí bylo také provedeno nad simulovanými daty.

Vývoj HW a SW prototypu monitoru ampacity a detektoru stavů a událostí

Monitor ampacity a detektor a lokalizátor zkratů byl implementován jako SW prototyp v jazyce Matlab. Detekce ostatních událostí indikujících sníženou stabilitu byla implantována jako SW prototyp modulu pro MQRT.

HW prototyp vychází ze současných PMU jednotek řešitele. Ty byly při řešení projektu upraveny tak, aby umožňovaly:

- lokální ukládání dat (pro případy problémů s implementací komunikačního kanálu mezi PMU a centrálou).
- použití protokolu NMEA pro časovou synchronizaci PMU
- dálkový bezdrátového dohledu a přenosu dat (tam, kde bude k dispozici takové spojení).

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

V rámci tohoto balíčku byl pro uplynulý rok definován první milník:

Návrh metod a softwarový prototyp: WAMS (Wide Area Monitoring System) – rádce operátora TSO pro účely zvýšení stability a spolehlivosti

První milník byl dosažen v roce 2013. Dílčí činnosti v rámci pracovního balíčku jsou shrnuty v oddílu 2b. Výsledky byly předány formou výzkumné zprávy [1] (viz. 2d.)

2b Dílčí cíle

V rámci tohoto balíčku byly pro uplynulý rok definovány tyto dílčí cíle:

Návrh metod a off-line prototyp monitorování ampacity a detekce událostí a stavů stability elektrických sítí

Dílčí cíl pro rok 2013 byl splněn.

Během řešení tohoto dílčího cíle byla vytvořena metoda pro monitorování ampacity vedení. Tato metoda byla implementována jako SW prototyp v prototypovém prostředí Matlab. Do tohoto

prostředí byla načtena naměřená data ze systému WAMS METEL ze 110 kV vedení, na kterých byl monitor ampacity otestován v režimu offline.

Také byla vytvořena metoda detekce a lokalizace zkratu na vedení. Tato metoda byla také implementovaná jako prototyp detektoru a lokalizátoru zkratů v prostředí Matlab. Protože nejsou k dispozici naměřené projevy zkratů v dostatečné kvalitě a z více míst současně, byl vytvořen model pro simulaci zkratů. Na simulovaných datech bylo ověřeno chování metody i správnost prototypové implementace.

Dále byla pozornost věnována detekci následujících událostí - nadlimitní rozdíly úhlů, ostrovní provoz, zvýšené oscilace kmitočtu sítě, snížení rezervy statické stability a snížení rezervy napěťové stability. Byly vytvořeny metody pro detekci těchto událostí a byly implementovány do offline prototypu.

2c Dílčí výstupy

V roce 2013 byl plánován dílčí výstup pracovního balíčku 23 s názvem:

Technická zpráva a software: Metody a SW off-line prototyp trigrování WAMS stavů a událostí v elektrických sítích

Dílčího výstupu pro rok 2013 bylo dosaženo.

Byla vytvořena výzkumná zpráva popisující metody detekce a trigrování událostí a monitorování ampacity. Ve zprávě je také popsáno testování prototypu SW implementující navržené metody a shrnuty výsledky provedených testů chování vyvinutých metod. Tato zpráva [1] je samostatnou přílohou k této zprávě.

2d Výsledky dle kategorie RIV

[1] JANEČEK, Eduard, POPELKA, Antonín a kol.: Metody monitorování ampacity vedení a detekce a lokalizace událostí, PLZEŇ, KKY-FAV ZČU v Plzni, 2013, výzkumná zpráva. K dispozici je na vyžádání u zodpovědné osoby pracovního balíčku WP2.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Milníku, dílčích cílů a výstupů projektu pro rok 2013 balíčku 2 bylo dosaženo.

V další fázi řešení projektu bude aktivita výzkumného týmu věnována návrhu modelu chyb monitoru ampacity a také lokalizace zkratů. Na základě těchto modelů bude navržena metoda, která k očekávaným hodnotám ampacity a polohy vypočte jejich o VaR hodnoty. Tato metoda bude implementovaná do SW offline prediktoru a bude otestována na simulovaných nebo reálných datech.

Dále bude dokončen vývoj SW a HW prototypu. Poté bude zahájen vývoj on-line monitoru ampacity a detektoru stavů a událostí.

Pracovní balíček 3

Vysoce efektivní řízení elektrických strojů

1 Popis činnosti

V roce 2013 spočívalo řešení projektu v následujících činnostech:

Příprava výroby servozesilovače

Laboratorní ověření vlastností servozesilovače

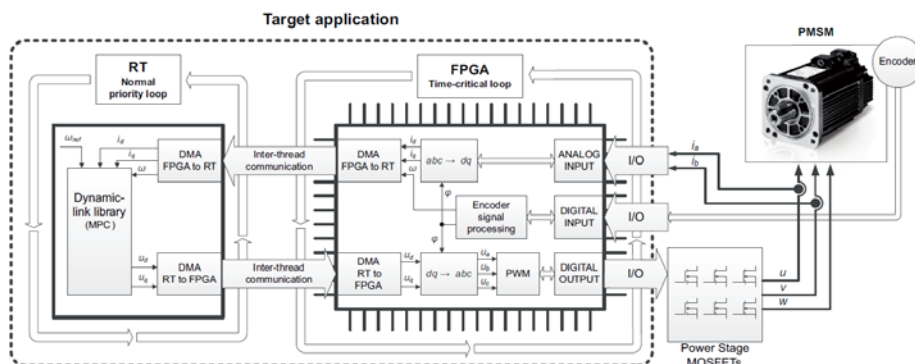
Dílčí činnosti byly plněny průběžně ve specifikovaných termínech. Bylo vykonáno množství činností nad rámec plánovaných činností. Byly publikovány tři články na impaktovaných mezinárodních konferencích, čtvrtý článek zaslán do časopisu Control Engineering Practice je v recenzním řízení. Vedle činností souvisejících s připojováním resolveru a inkrementálních enkodérů bylo řešeno připojení sin-cos snímačů založených na GMR a AMR principu. Výhodou těchto snímačů je nízká cena. Naproti tomu nevýhodou je závislost přesnosti snímače na dosažené přesnosti vzájemného umístění magnetu a snímače magnetického pole. Nevýhodou je možné kompenzovat. V této oblasti byly řešeny dva druhy kompenzací. Statická kompenzace odstraňuje vliv posunutí stejnosměrné složky, změny zesílení a eliptického zkreslení. Dynamická kompenzace umožňuje kompenzovat dynamický charakter snímače, který se projevuje zpožděním odhadu polohy v oblasti vysokých otáček. Pro kompenzaci byl použit ATO – Angle Tracking Observer sestávající se s integrátorem řízeného PI regulátorem. Algoritmus potom slouží současně jako estimátor úhlové rychlosti. Obě kompenzace byly realizovány ve formě Simulinkovského schématu, ze kterého byl následně automaticky vygenerovaný kód, který byl otestován v cílovém procesoru.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Vývoj algoritmů pro energeticky optimální řízení elektrických motorů a jejich simulační ověření

V roce 2013 na VUT pokračoval vývoj algoritmů pro energeticky optimální řízení motorů postavených na algoritmech prediktivního řízení. Výhodou prediktivního řízení je možnost zahrnutí omezení do kriteriálních funkcí. Nevýhodou je jejich vysoká výpočetní náročnost. V rámci implementace musely být přesto provedeny četné optimalizace na snížení výpočetní náročnosti. Výsledky jsou podrobně popsány v článku „MPC Implementation for Small PMSM using CVXGEN and cRio“, který byl zaslán do časopisu Control Engineering Practice, kde je v recenzním řízení.



Obr. WP3.1 Schéma implementace prediktivního řízení v systému cRIO

Druhým článkem, který se zabývá problematikou energeticky optimálního řízení synchronních motorů, nese název „Nonlinear predictive controller design of PMSM with field weakening performance“ a byl publikován na konferenci IECON 2013. Byl zde prezentován algoritmus, který minimalizuje statorový proud při zajištění požadovaného momentu. Tím dochází k minimalizaci ztrát. Použitý přístup se liší od dřívějších článků jiných autorů tím, že využívá jeden regulátor s více vstupy a výstupy, který nahrazuje běžně používanou kaskádní regulaci, ve které je optimalizována pouze otáčková, případně polohová smyčka. Tím je dosaženo skutečně optimálního řízení a ne jenom suboptimálního.

Článek PMSM Model Discretization for Model Predictive Control algorithms prezentovaný na konferenci 2013 IEEE/SICE International Symposium on System integration popisuje rozšířenou metodu diskretizace pro použití při implementaci prediktivních algoritmů. Článek také popisuje vliv predikčního horizontu na kvalitu řízení elektrických střídavých pohonů. Další článek s názvem Rapid Prototyping of Robust Motor Control Algorithms on Freescale Targets, který byl prezentován na téže konferenci, popisuje námi navržený a realizovaný způsob konverze algoritmů z prostředí Matlab do zvoleného cílového procesoru. Tento přístup nevyužívá automatického generování kódu v Matlabu, protože se zaměřuje na vytváření vysoce optimalizovaných algoritmů v jednoduchých procesorech bez jednotky s plovoucí desetinou čárkou. Nástroj je vytvořený jako knihovna funkcí v Matlabu nazvaná SFIO Toolbox. Tento nástroj byl využit při realizaci programového vybavení měniče vytvořeného firmou EmSpin.

Návrh struktury interpretu funkcí pro zjednodušení použití servozesilovače

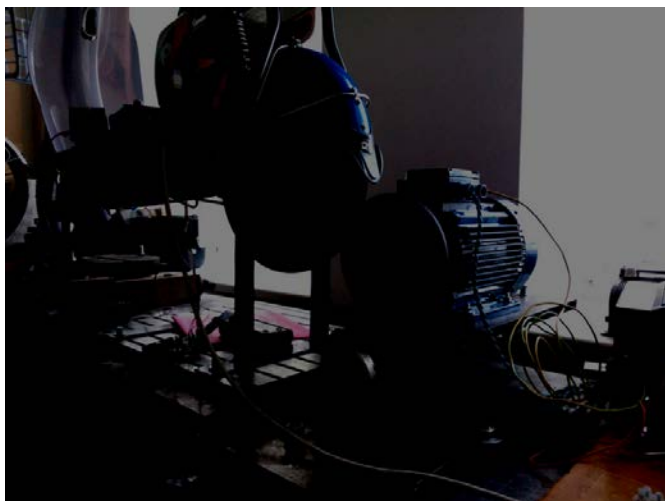
Byl proveden návrh funkčního interpretu. K jeho tvorbě se používají nástroje Bison a Flex pro syntaktickou a lexikální analýzu. V současné době interpret obsahuje základní matematické funkce a jednoduché funkce pro inicializaci měniče.

Prototyp nového modulárního digitálního servozesilovače pro výkon 1kW

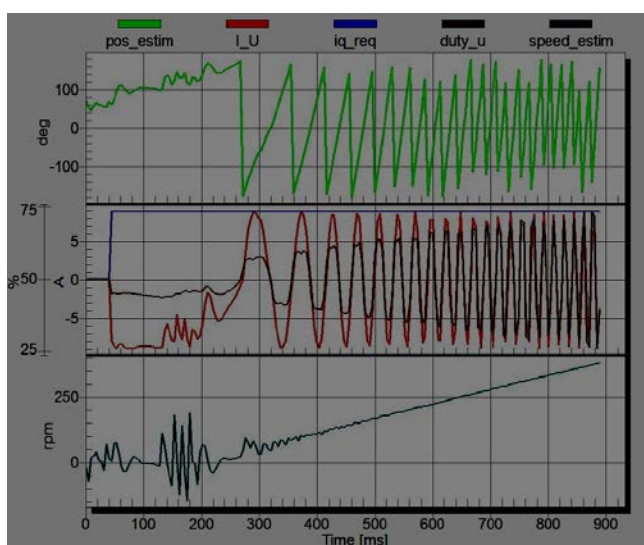
Firma EmSpin provedla analýzu současných BLDC řídicích jednotek s halovými snímači, které se používají v současných elektrokolech a v elektrických skútrech. Dále se seznámila se s jejich současnou elektro výzbrojí. Proměřila a ověřila jejich základních jízdní vlastnosti a našla limity současných BLDC řídicích jednotek (např. maximální rychlost). Na základě této analýzy provedla nový návrh měniče, jehož řídicí algoritmus nevyžaduje informaci z halových snímačů polohy ani z jiného dalšího snímače polohy. Poloha je dopočítávána uvnitř signálového procesoru. Toto řešení výrazně snižuje cenu celého zařízení. V literatuře se tento problém nazývá bezsnímačové řízení synchronních motorů. Byla provedena implementace hierarchické struktury pro aplikaci elektrického skútru. Byl proveden vývoj algoritmů pro optimální řízení synchronního motoru a jejich převod na cílový signálový procesor. Bylo provedeno laboratorní testování na jednosedadlovém elektrickém skútru se synchronním motorem 350W. Systém byl napájen z baterie 48V 11Ah. Jako zátěž byl použit asynchronní motor o výkonu 3kW, který byl napájen frekvenčním měničem SIEMENS Micromaster 440 s externím brzdovým rezistorem 2kW. Dále byly provedeny funkční testy, které ověřily reálné jízdní vlastnosti s různými jízdními profily. Během funkčního testování bylo monitorováno chování měniče a naměřené výsledky byly bezdrátově posílány do přenosného počítače. Použitý softwarový nástroj FreeMaster současně umožňoval měnit za běhu nastavení celého systému.

Pro vývojovou fázi byl zvolen spínací kmitočet měniče na 10kHz z důvodu vytížení procesoru při ladění v reálných podmínkách. Pro cílovou aplikaci bude spínací kmitočet zvýšen na hodnotu 16kHz. Tato hodnota plyne z požadavků výrobce elektrického skútru a zajistí lepší akustiku při samotném provozu. Na základě testování v laboratorních i reálných podmínkách byly odladěny chyby návrhu a byla doplněna možnost připojení modulu pro dálkové ovládání a testování měniče. V současné době probíhá testování a ladění druhé revize měniče a je prakticky hotová dokumentace pro jeho finální výrobu. Ve spolupráci se skupinou z VUT Brno bylo provedeno testování měniče pomocí HIL simulace. Řídicí algoritmus byl implementován v LabView a

testován v systému CompactRIO. Toto řešení umožňuje testovat pokročilé algoritmy pro estimaci počáteční polohy rotoru a pro odhad aktuálního úhlového natočení za běhu motoru. Na následujícím obrázku jsou zachyceny průběhy vnitřních veličin z regulační struktury vektorového řízení bez čidla otáček.



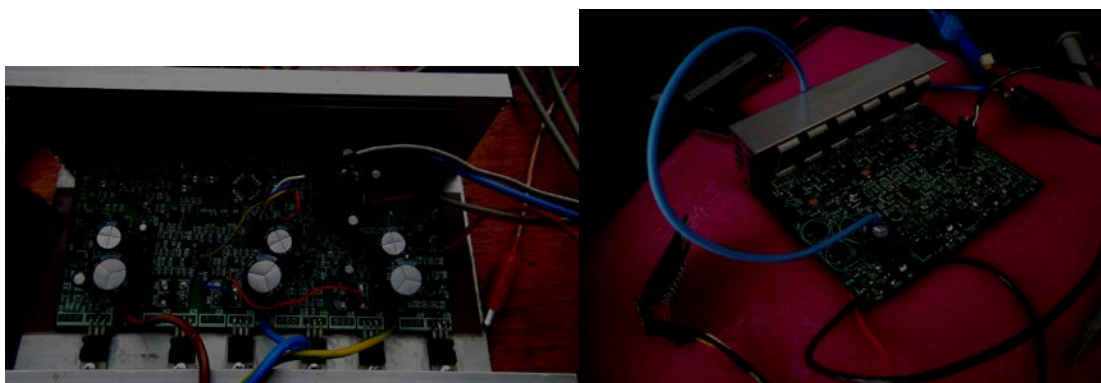
Obr. WP3.2 Stanoviště pro mechanické zatěžování a testování elektrického skútru v laboratorních podmínkách.



Obr. WP3.3 Průběhy vnitřních veličin při startu elektrického skútru na požadované otáčky.

První a druhá revize prototypu měniče je vidět na obrázku WP3.4

Skupina ve firmě TGDives realizovala několik výrazných vylepšení měniče na základě analýzy chování prototypové verze postavené na platformě signálového procesoru. Byly u ni zjištěny následující nedostatky. Nízká odolnost vůči rušení (vzájemnému) a nízký výpočetní výkon procesoru pro pokročilé funkce servozesilovače. Proto proběhly testy a vývoj na nové platformě SoC (System on chip), které v sobě sdružuje hradlové pole a dvou jádrový ARM procesor s řadou potřebných periférií. Využití hradlového pole je nutností pro implementaci moderních plně digitálních zpětných vazeb – snímačů polohy motoru. Rovněž je nezbytné pro moderní průmyslové sběrnice na bázi ethernetu.

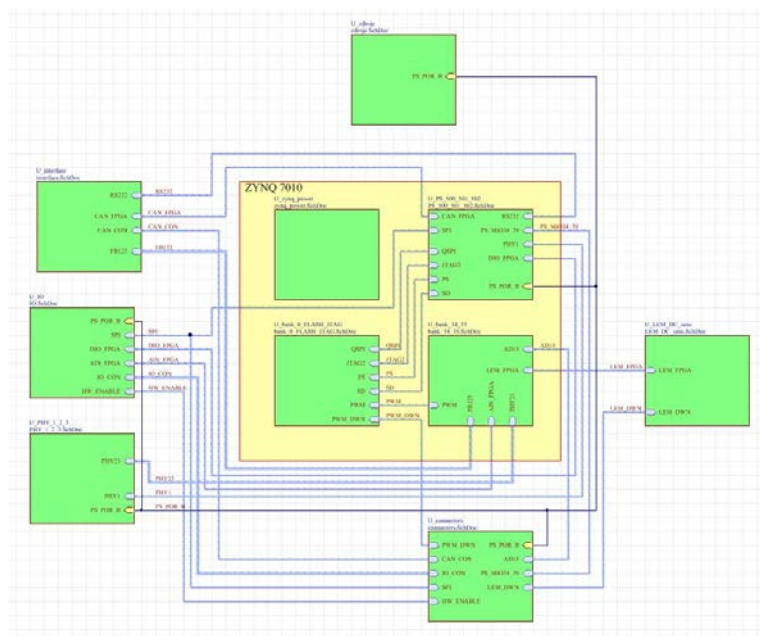


Obr. WP3.4 První a druhá revize prototypové jednotky DC 48V 16A RMS s diskrétními budiči.

Byla zvolena koncepce dvojitého měniče a to z následujících důvodů:

1. Potlačení vzájemného rušení nesynchronním spínáním výkonových prvků
2. Energetická úspora v případě že jeden měnič rekuperuje druhý může odebírat energii.
3. Kompenzace zvýšené ceny. Dražší a výkonnější čip řídí dva měniče, takže výsledná cena na jeden měnič je nižší.
4. Ve většině aplikací je více než jeden servozesilovač.
5. Je možno řešit funkce vzájemné součinnosti obou měničů bez nadřazeného systému.

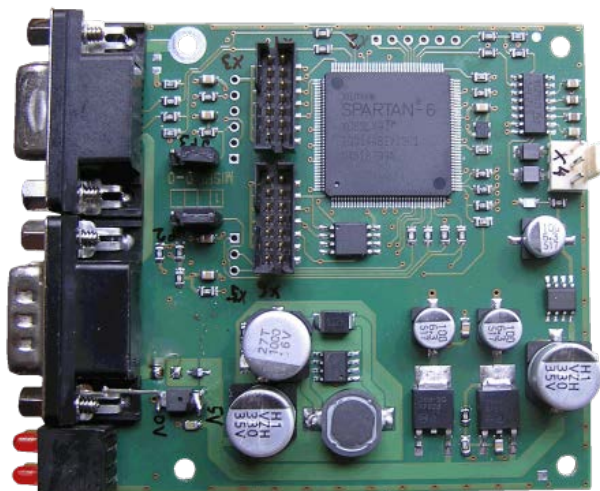
Bylo navrženo schéma řídicí části servozesilovače a po provedení několika testů bude navržena deska plošných spojů.



Obr. WP3.5 Schéma řídicí části servozesilovače s SoC Zynq

Definice komunikačního rozhraní pro připojení resolverů a inkrementálních snímačů k modulárnímu digitálnímu servozesilovači

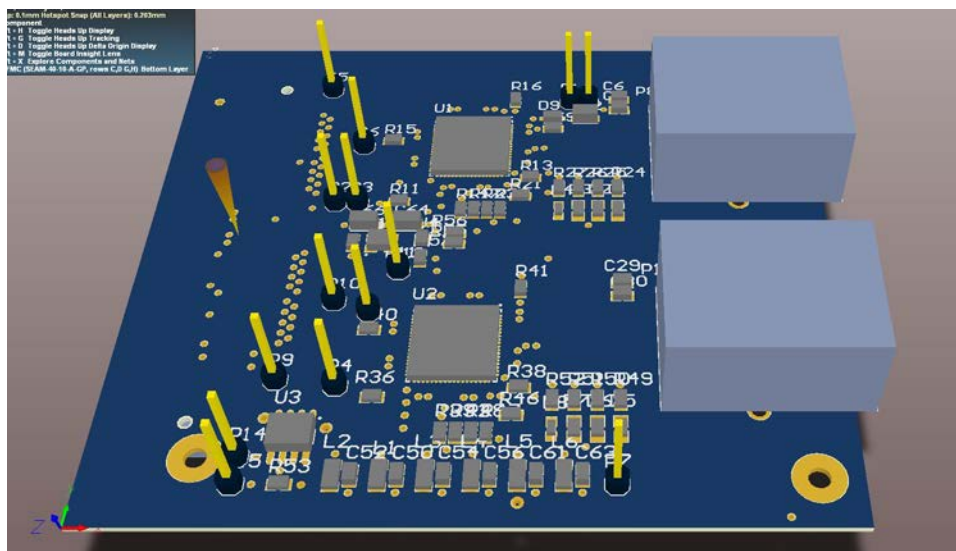
Pro ověření funkce snímačů polohy byla navržena a vyrobena testovací deska s hradlovým polem.



Obr. WP3.6 Univerzální hardwarový modul pro testování digitálních komunikací

Na této desce bylo otestováno univerzální hardwarové rozhraní pro snímače polohy s digitální komunikací Hiperface DSL a Endat 2.2 Rovněž byla otestována konfigurace pro hradlové pole. Rozhraní zpětných vazeb je připraveno k implementaci v novém servozesilovači. Navrhnutá deska byla aplikována u zahraniční firmy jako převodník digitálních zpětných vazeb. Pro testování a vývoj konfigurace hradlového pole pro průmyslovou sběrnici na bázi ethernetu byla navržena a vyrobena deska propojitelná s vývojovou deskou se SoC.

Nyní proběhl ještě návrh druhé verze této desky pro otestování jiného čipu phy a jeho vlivu na zpoždění paketu.



Obr. WP3.6 Hardwarový modul pro testování vlivu zpoždění paketu na komunikaci

2b Dílčí cíle

Provedení laboratorních zkoušek servozesilovače

Byly vytvořeny a testovány dva měniče. Modulární servozesilovač vyvinutý firmou TGDrives a jednocelový měnič pro řízení elektroskútru vyvinutý firmou EmSpin. Oba servozesilovače byly

testovány při statickém i dynamickém zatěžování, byla vyzkoušena jejich odolnost na elektromagnetické rušení, byly na nich prováděny teplotní zkoušky. Výsledky testů byly použity ke zlepšení jejich chování v nových revizích.

2c Dílčí výstupy

Hardwarový modul pro konverzi signálů resolveru na unifikovanou sběrnici

Hardwarový modul pro konverzi signálů inkrementálního snímače na unifikovanou sběrnici

Byly splněny oba dílčí výstupy. Jejich popis je přiložen v samostatných odborných přílohách.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V kalendářním roce 2014 se předpokládá pokračování řešení pracovního balíčku podle projektové žádosti. Bude pokračovat vývoj algoritmů pro energeticky optimální řízení elektrických pohonů. Zde se hodláme zaměřit na energeticky optimální řízení vícefázových pohonů, které jsou zajímavé svojí redundancí a tím, že se začínají používat v automobilovém průmyslu v elektromobilech, kde zvýšení účinnosti vede ke zvýšení dojezdové vzdálenosti, která je kritická.

Budou probíhat činnosti na vylepšení softwarového vybavení obou vyvíjených měničů. Bude pokračovat implementace algoritmů vektorového řízení v SoC Zynq v hradlovém poli, která umožní řízení dvou, případně více, motorů současně, se zajištěním úplné synchronizace spínání výkonových prvků, která bude minimalizovat vzájemné rušení. Budou vyvíjeny a testovány algoritmy pro estimaci počáteční polohy a pro průběžné odhadování polohy. Nadále bude testování probíhat na platformě CompactRIO. Budou vyvíjeny pokročilé funkce pro interpret funkcí. V neposlední řadě bude probíhat práce na rozšiřování komunikačních možností modulárního servozesilovače.

Pracovní balíček 4

Teleprezenční mobilní robot pro průzkum v nebezpečných oblastech

1 Popis činností

Vývoj řídicích algoritmů pro teleprezenční systém

Bylo navrženo a implementováno několik rozdílných algoritmů pro ovládání kamerového manipulátoru pomocí pohybů hlavy operátora. Algoritmy jsou určeny pro dvě různé hardwarové konfigurace (dva druhy snímání pohybů hlavy operátora a dvě různé helmy virtuální reality), konečný výběr bude proveden až na funkčním robotu.

Výroba mechaniky kamerového manipulátoru

Kamerový manipulátor byl vyroben a pečlivě otestován jak z hlediska předpokládaných provozních parametrů, tak dostatečné mechanické robustnosti a spolehlivosti.

Všechny plánované činnosti byly splněny dle plánu. Navíc bylo vykonáno množství prací souvisejících s datovou fúzí snímačů pro rozšířenou vizuální teleprezenci (CCD kamery, termovizní kamery, TOF kamery), která nebyla původně plánována. V souvislosti s tím byla vypracována nová metoda vzájemné kalibrace jmenovaných snímačů, která již byla z části publikována.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Optimalizovaný teleprezenční systém

Dokončení plánováno na 12/2013, v termínu úspěšně dokončen a otestován.

Systém je složen z následujících hlavních součástí:

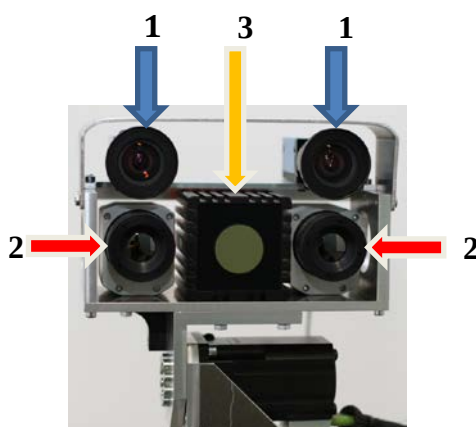
- Helma/brýle virtuální reality.
- Operátorská stanice s obslužným a zobrazovacím programem.
- Operátorský ovladač s mikrokontrolérem (volitelně).
- Řídicí deska robotu s mikrokontrolérem Arm Cortex-M3.
- Inteligentní řídicí moduly motorů kamerového manipulátoru.
- Mechanika kamerového manipulátoru.
- Senzorická hlavice s pěti kamerami (2x CCD, 2x termovizní kamera, 1x TOF kamera).

Mechanika kamerového manipulátoru byla navržena na VUT a vyrobena firmou LTR s.r.o. (viz Obrázek 1). Manipulátor má tři rotační stupně volnosti a umožňuje dvě kinematické konfigurace. Celý návrh byl podřízen maximální tuhosti konstrukce tak, aby bylo možné dosáhnout velmi dobrého rozlišení úhlového natočení s dobrou opakovatelností. Dalším důležitým parametrem zohledněným při návrhu byla vysoká maximální rychlost pohybu až 500°/s daná maximální rychlostí pohybu lidské hlavy.

Na kamerovém manipulátoru je umístěna kamerová hlavice (viz Obrázek 2), která obsahuje 5 snímačů – stereovizní pár CCD kamer, stereovizní pár termovizních kamer a tzv. dálkoměrnou kameru, vše určeno pro plánovanou datovou fúzi pro vizuální teleprezenci. Celý vizuální systém by měl umožnit operátorovi velmi dobrou orientaci v prostoru za prakticky libovolných podmínek z hlediska viditelnosti, včetně mlhy, kouře, tmy či širokého dynamického rozsahu ve scéně.



Obrázek 1. Mechanika kamerového manipulátoru se třemi stupni volnosti



Obrázek 2. Senzorická hlavice pro mobilní robot. 1) barevné CCD kamery, 2) termovizní kamery, 3) TOF kamera

Důležitým řešeným problémem byla “optimalizace parametrů videa”. Tato byla rozdělena na dvě samostatné úlohy:

- Optimalizace pro bezdrátový přenos s důrazem na co nejlepší poměr kvalita/datová náročnost
- Optimalizace pro experimenty s nejvyšší dosažitelnou kvalitou s metalickým propojením (2x GBit Ethernet)

Pro bezdrátové spojení byl po sérii experimentů zvolen kodek H.264.

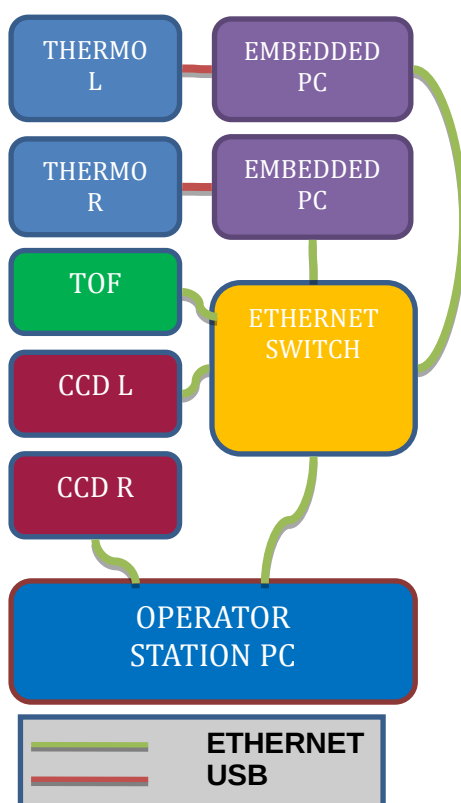
Pro metalické propojení byl zvolen přenos hrubých dat ze snímačů s uspořádáním dle Obrázek 3. Problémem byly především použité levné miniaturní termovizní kamery s výstupem výhradně USB2.0. Pro ty musel být vyvinut programový převodník fungující na embedded PC, které budou umístěny na robotu.

Motory manipulátoru jsou připojeny na nově vyvinuté, mikroprocesorem řízené řídicí moduly motorů, které vyvinula firma TGDrives s.r.o. Komunikace s těmito měniči probíhá pomocí sběrnice CAN a umožňuje v současné době kompletní řízení v rychlostní nebo polohové smyčce. Nad

těmito moduly je real-time řídicí deska robotu, se kterou komunikuje operátorská stanice pomocí protokolu ba bázi UDP v síti Ethernet.

Testy byly provedeny na skupině pěti operátorů se dvěma konfiguracemi, které se lišily brýlemi virtuální reality a snímačem pohybů hlavy (viz. Obrázek 4). Výsledky testů je možné označit jako velmi dobré, konečný výběr algoritmu a helmy proběhne až na dokončeném robotu.

V souvislosti s pracemi na tomto milníku byl řešiteli pracovního balíčku vytvořen funkční vzorek vykázaný do RIV pro tento projekt: Stereovizní sensorická hlavice pro datovou fúzi.



Obrázek 3. Blokové schéma propojení snímačů s operátorskou stanicí



Obrázek 4. Operátorka při testu s brýlemi virtuální reality

2b Dílčí cíle

Zkoušky mechanické konstrukce prototypu teleprezenčního kamerového manipulátoru.

Tento cíl byl splněn podle plánu v únoru 2013. Kinematické i dynamické vlastnosti manipulátoru byly ověřeny. Dále byla ověřena přesnost polohování celého řetězce regulátor-měnič-motor-převodovka s tím, že základní přesnost vyhovuje pro většinu plánovaných úloh, nedosahuje však maximálních mechanických hodnot převodovky (další vývoj).

2c Dílčí výstupy

Mechanická konstrukce kamerového teleprezenčního manipulátoru

Výstup byl splněn a je vykázan do RIV jako funkční vzorek.

Při řešení projektu byly dále vytvořeny další dva funkční vzorky: „Stereovizní senzorická hlavička pro datovou fúzi“ a „Kalibrační terč pro viditelné, blízké infračervené a vzdálené infračervené spektrum“.

2d Výsledky dle kategorie RIV

[1] VOMOČIL, J.; GÁBRLÍK, P.; ŽALUD, L. The Design and Implementation of 4 DOF Control of the Quadrotor. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), Programmable devices and systems*. Velké Karlovice, Elsevier B.V. 2013. p. 68 - 73. ISBN 9783902823533, ISSN 1474-6670. Publikace je přílohou odborné zprávy.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Vzhledem k bezproblémovému plnění činností a milníků projektu v pracovním balíčku WP4 je možné předpokládat úspěšné plnění projektu i v roce 2014. Dále budou pokračovat práce na teleprezenčně řízeném mobilním robotu třídy Orpheus. I nadále se předpokládá rozšíření projektu o původně neplánovanou datovou fúzi tzv. maticových snímačů, tj. CCD kamer, termovizních kamer a TOF kamery.

Předpokládá se podání souvisejícího průmyslového vzoru kalibračního terče v průběhu prvního pololetí 2014, a je tedy možné předpokládat splnění tohoto indikátoru do konce roku 2015. Budou dokončeny minimálně dvě odborné publikace.

Pracovní balíček 5

Hlasové systémy pro interakci člověka se stroji

1 Popis činnosti

Sledování nových teoretických poznatků, sledování trhu v oblasti hlasových systémů

Průběžně, po dobu hodnoceného období, probíhalo sledování nových teoretických poznatků formou studia odborných článků, aktivní účasti na prestižních mezinárodních konferencích ASRU'2013 a ICASSP'2013., a též formou pozvaných přednášek pracovníků zahraničních pracovišť (např. z JHU Baltimore). Současně byl sledován i vývoj na trhu v oblasti hlasových systémů, a to především formou zjišťování poptávky potencionálních tuzemských odběratelů. Byly potvrzeny dříve zjištěné tendence zvyšujícího zájmu o řečové technologie, a to jak v oblasti využití počítačového rozpoznávání řeči (včetně indexování rozsáhlých audiovizuálních archivů), počítačové syntézy řeči i systémů automatického hlasového dialogu člověka s počítačovými (informačními) systémy.

Sběr a anotace akustických a jazykových dat „z prostředí“ řešených úloh

Proběhl sběr akustických a jazykových dat potřebných pro vytvoření akustických a jazykových modelů z prostředí vybrané aplikační oblasti. Výsledkem této činnosti bylo vytvoření korpusu anotovaných akustických a jazykových dat včetně výslovnostního slovníku z domény televizních politických diskusních pořadů. Tento výsledek (podrobně je popsán v samostatné příloze) je plánovaným aplikačním výstupem projektu druhu R-software. Zároveň pokračovaly práce spojené se sběrem dalších textových dat pro jazykové modelování. Čeština jako jazyk s vysokou flexí vyžaduje pro pokrytí dostatečné slovní zásoby relativně rozsáhlé texty a slovníky spojené s tematickou oblastí řešené úlohy. V této souvislosti byly využity dříve vyvinuté nástroje jednak pro automatický sběr a „čištění“ dat získaných z informačních serverů českého webu a dále technologie umožňující „vzdálenou“ distribuovanou anotaci textových dat. Funkcionalita těchto nástrojů byla v rámci řešeného projektu dále vylepšena, a to ve spolupráci se studenty doktorského studia. Uvedme, že důležitým atributem systému je schopnost detekovat i témata textových jednotek (článků).

Tvorba akustických a jazykových modelů; zpracování slovníků; příprava TTS modulu (syntéza řeči)

Akustický a jazykový model základního (base-line) systému automatického rozpoznávání mluvené řeči vytvořené v předchozím kalendářním roce byly ve sledovaném roce řešení projektu nahrazeny vyspělejšími nástupci (akustický model je nyní vytvořen diskriminativním trénováním a obsahuje plné kovarianční matice). Využití plných kovariančních matic v Gaussových hustotních směsích při vytváření pravděpodobnostních modelů akustických řečových jevů zvyšuje prokazatelně přesnost rozpoznávání i robustnost celého systému, nicméně počet parametrů, se kterými celý systém pracuje, se výrazně navýší. Uvedme, že jde standardně až o více než 10M parametrů, které musí být ve fázi trénování odhadnuty, a pak při rozpoznávání jsou všechny parametry „využívány“ při periodickém výpočtu věrohodností akustických řečových dat. Pro zajištění on-line funkce celého systému je proto nutné využít pro tyto výpočty grafických karet se speciálními softwarovými moduly. Optimalizace funkcionality těchto modulů byla součástí činností v hodnoceném období. V oblasti jazykového modelování byly průběžně vylepšovány funkce automatického sběru a „čištění“ textových dat získávaných z webovských informačních portálů. V této souvislosti uvedme publikační aktivitu uvedenou v [1].

V říjnu 2013 byl dle naplánovaného harmonogramu pro účely cílových aplikací balíčku projektu, tj. pro hlasovou interakci vyhledávání v audio/video archivech, připraven modul TTS (počítačové syntézy řeči) s novou implementací algoritmu čtení zkratk, algoritmu změny rychlosti tempa

syntetizované řeči a algoritmu pro změnu a řízení hlasitosti. Počáteční „neduhy“ implementace TTS pro cílovou aplikaci (problém převzorkování signálu, špatná kvalita zrychlené řeči, plechový zvuk) se podařilo odstranit. Modul TTS je navržen jako platformově nezávislý a byl testován na platformě Windows a LINUX.

Kompletace laboratorních modulů, jejich optimalizace a testování

Jednotlivé komponenty (tj. akustický model, jazykový model a TTS) byly implementovány ve formě laboratorních modulů a byla zahájena fáze jejich optimalizace a testování, která bude pokračovat i v r.2014, dle schváleného harmonogramu. Zároveň začaly zejména teoretické práce na další plánované činnosti s názvem „Kombinace statistického a znalostního přístupu při řízení hlasového interaktivního systému“. Výzkum byl věnován především metodám pro porozumění mluvené řeči. V rámci této činnosti byly zkoumány metody porozumění řeči ze slovních a fonémových mřížek. Dále byla vyvinuta inovativní metoda pro detekci sémantických entit ve vstupní promluvě. Tyto metody umožňují získat význam vstupní promluvy v reálném čase a jsou proto vhodné pro nasazení ve vyvíjených hlasových interaktivních systémech. Zároveň umožňují efektivně reprezentovat neurčitost vstupních dat způsobenou systémem automatického rozpoznávání řeči. Vyvinuté metody také poskytují více výstupních hypotéz spolu s jejich ohodnocením pomocí posteriorní pravděpodobnosti. Výsledky tohoto výzkumu byly v roce 2013 publikovány na zahraničních vědeckých konferencích [2], [3] a [4].

- [1] LEHEČKA, J., ŠVEC, J.: Improving Speech Recognition by Detecting Foreign Inclusions and Generating Pronunciations. TSD. *Lecture Notes in AI*, 2013, vol.8082, no.1, pp. 295-302, Springer-Verlag, Berlin. (ISSN 0302-9743)
- [2] ŠVEC, J., ŠMÍDL, L.: On the Use of Phoneme Lattices in Spoken Language Understanding. TSD. *Lecture Notes in AI*, 2013, vol.8082, no.1, pp. 369-377, Springer-Verlag, Berlin. (ISSN 0302-9743)
- [3] ŠVEC, J., ŠMÍDL, L., IRCING, P.: Hierarchical discriminative model for spoken language understanding. –In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'2013), Vancouver, Canada, 2013, pp. 8322-8326 (ISSN 1520-6149)
- [4] ŠVEC, J., IRCING, P., ŠMÍDL, L.: Semantic entity detection from multiple ASR hypotheses within the WFST framework. –In: Proceedings of IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding (ASRU'2013), Olomouc, 2013, pp. 84-89.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Finalizován vývoj základních trénovacích, testovacích a evaluačních korpusů (tj. proveden cílený sběr, anotace a verifikace akustických a jazykových dat) pro vybrané aplikační oblasti, finalizován vývoj nových metod a postupů hlasové interakce člověka se strojem (počítačem) ve formě laboratorních modulů.

Byly kompletovány korpusy pro trénování, testování a evaluaci akustického a jazykového modelu vybrané aplikační oblasti, tj. z domény televizních politických diskusních pořadů. Byly vytvořeny metody pro konstrukci akustického a jazykového modelu pro vybranou aplikační oblast ve formě laboratorních modulů.

2b Dílčí cíle

Vytvoření korpusu anotovaných akustických a jazykových dat včetně výslovnostního slovníku.

Pro řešení úlohy bude proveden sběr akustických a jazykových dat. Akustická a jazyková data budou anotována s využitím anotačního nástroje WebTransc, vyvinutého na pracovišti ZČU.

V případě zpracování „nestandardních“ dat (malý odstup signálu a šumu, nestandardní výslovnosti apod.) budou navrženy postupy korektního a jednoznačného anotačního zápisu. Pro řešenou úlohu budou zpracovány výslovnosti slovníky.

Dílčím cílem bylo vytvořit korpus akustických a jazykových dat pro doménu diskusních pořadů. Sbíraná data pocházela přímo z prostředí dané cílové úlohy (televizní diskusní pořady). Ve shodě s popisem náplně pracovního balíčku uvedeného v návrhu projektu byly též pořizovány mikrofonní řečové nahrávky s výhledem jejich využití i ve druhé etapě projektu (tj. i pro jiné jazyky, než je čeština). Data byla anotována v prostředí anotačního nástroje WebTransc. Pro vybranou aplikační doménu byl vytvořen výslovnostní slovník potřebný pro správnou funkci systému rozpoznávání mluvené řeči. Výsledkem této činnosti je výsledek „Korpus anotovaných akustických řečových dat z domény politických diskusních pořadů“ blíže popsany v samostatné příloze.

Vývoj akustických a jazykových modelů

Akustický jazykový model je standardně vyvíjen s využitím skrytých Markovových modelů. Jeho přesnost lze zvýšit tím, že sběr akustických řečových dat je proveden z prostředí dané úlohy. Při akustickém modelování budou aplikovány všechny relevantní techniky, které mohou zlepšit přesnost a robustnost akustických modelů, např. HLDA, MLLT, diskriminativní trénink, „unsupervised“ adaptace na řečníka apod. Pro zvýšení robustnosti předpokládáme, že v případě dostatečného množství anotovaných trénovacích dat, budeme pracovat s plnými kovariančními maticemi akustického modelu. Pro tvorbu jazykového modelu budou využity texty či přepisy „dialogů“ z prostředí dané úlohy, případně budou hledána a doplněna jazyková data z podobného tematického prostředí. Jazykový model bude pracovat na n-gramovém principu, přičemž chceme posílit velmi frekventovaná slovní spojení tzv. „multislovy“. K vyhlazení jazykového modelu chceme využít techniky založené na „ústupových“ (backing-off) či lineárních schématech vyhlazování, popř. neuronových sítí.

Akustický jazykový model byl adaptován na data z prostředí dané úlohy. Byly aplikovány metody HLDA, MLLT, diskriminativní trénink, „unsupervised“ adaptace na řečníka a HMM / GMM s plnými kovariančními maticemi. Pro on-line výpočty s GMM a plnými kovariančními maticemi byly optimalizovány výpočty na GPU. Pro tvorbu jazykového modelu byla využita textová data z prostředí vybrané úlohy televizních politických diskusních pořadů. Jazykový model je založen na n-gramech s „multislovy“ a „ústupovým“ schématu Knesera-Ney.

2c Dílčí výstupy

Korpus anotovaných akustických řečových dat z domény politických diskusních pořadů

Korpus obsahuje audiovizuální záznam 82,5 hod politických diskusních pořadů, které byly následně anotovány, tj. byl vytvořen přepis dokumentů a následně byl sestaven slovník všech slov objevujících se v dokumentech a byly zpracovány všechny výslovnostní varianty daných slov. Podrobnější informace o výstupu lze nalézt v samostatném dokumentu, který je přílohou této zprávy. Tento dílčí výstup je/bude použit pro vytvoření systému rozpoznávání mluvené řeči, jenž je nutnou součástí hlasového interaktivního systému, jehož vytvoření je pak konečným cílem předmětného balíčku projektu.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Výsledek „Korpus anotovaných akustických řečových dat“ byl dosažen v plánovaném termínu 6/2013. Jde o výsledek druhu R-software (dle Metodiky 2013 RIV).

Název výsledku pro vložení do RIV:

Korpus anotovaných akustických řečových dat z domény politických diskusních pořadů.

Identifikační číslo výsledku:

TE01020197DVV001

Technické parametry výsledku:

- Zdrojová data obsahují 82.5 hodiny TV záznamů politických diskusních pořadů ve formátech MP4, OGV, WAV.
- Vzorkovací frekvence hlasového záznamu je 22.05 [kHz] s rozlišením 16 bit.
- Korpus obsahuje záznamy 89 řečníků.
- Textové anotace obsahují 254 298 vět a 4 061 382 tokenů (běžných slov).
- Součástí korpusu je výslovnostní slovník 113 567 slov vyskytujících se v korpusu, který obsahuje 566 238 výslovnostních variant a 11 903 multislov.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Řešení pracovního balíčku 5 „Hlasové systémy pro interakci člověka se stroji“ probíhá standardním způsobem. V průběhu roku 2014 nejsou očekávány žádné zásadní změny ve strategii řešení tohoto balíčku. Spolupráce výzkumné skupiny na ZČU v Plzni a partnerů ve spolupracující firmě SpeechTech s.r.o. probíhá bez problémů.

Pracovní balíček 6

Komponenty robotického systému interakce člověk- stroj

1 Popis činností

Vývoj metod plánování a rozvrhování v multi-robotických systémech

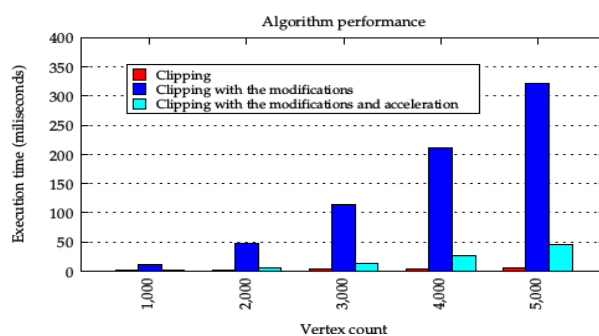
První z aktivit pracovního balíčku byl vývoj metod plánování a rozvrhování, konkrétně řešení úloh prohledávání neznámého prostředí a hledání objektu v neznámém prostředí týmem spolupracujících mobilních robotů. Obě tyto úlohy jsou definovány jako iterativní proces skládající se z (a) aktualizace mapy prostředí na základě senzorických vjemů, (b) nalezení možných cílů, tj. vhodných míst v prostředí, jejichž navštívení přinese novou informaci o prostředí, (c) ohodnocení těchto kandidátů a (na základě tohoto ohodnocení) výběr cíle pro každý robot a (d) navigace robotů k vybraným cílům. Tento proces je opakován, dokud není prozkoumáno celé prostředí, případně dokud není nalezen hledaný objekt.

Klíčovou komponentou zmíněných metod pro jejich nasazení v rozlehlých prostředích je reprezentace prostředí. Oproti standardním state-of-the-art technikám, které jsou založeny převážně na mřížkách obsazenosti, náš přístup vytváří model prostředí ve formě geometrické (polygonální) mapy. Ta poskytuje jednak přesnou (s ohledem na kvalitu senzorických dat) a efektivní reprezentaci prostředí a jednak umožňuje použití rychlých plánovacích algoritmů. Na druhou stranu, tvorba skládání senzorických měření do polygonální mapy není přímočará. Náš přístup je založený na modifikaci Vattiho algoritmu pro booleovské operace s polygony doplněný o následný postprocessing, který udržuje informace o hranách polygonů nezbytné pro prohledávací proces. Navržený postup umožňuje zpracovávat mapu velikosti 5000 vrcholů za cca 50 ms na běžném PC, což je více než dostatečné.

Rámec prohledávání a hledání byl realizován v prostředí ROS (Robot Operating System), což poskytuje perspektivu pro další rozvoj rámce a jeho použití širokou robotickou komunitou. Jako součást rámce byly implementovány state-of-the-art strategie výběru cílů: hladová, hladová bez opětovného výběru cíle (BLE - broadcast of local eligibility), maďarská a metoda založená na k-means shlukování. Prohledávací rámec umožnil rozsáhlé testování implementovaných strategií v různých prostředích a s různým počtem robotů.



Výsledná mapa po prohledání prostředí o velikosti 271.5x110.75 m týmem 10 robotů (dosah senzoru 10 m). Mapa obsahuje cca 1100 vrcholů.



Porovnání časové náročnosti originálního algoritmu bez informace o typu hran, naivního přístupu a akcelerované přístupu

Vývoj metod navigace v rozlehlých prostředích

Pro navigaci v rozsáhlém prostředí je využívána reprezentace prostředí ve formě hybridní metricko-topologické mapy, tedy ve formě grafu, kde uzly popisují místa v prostředí a hrany popisují cesty, které tato místa spojují. Mapa obsahuje explicitní popis procedurální znalosti, kdy ve formě páru „algoritmus-vstupní data“ je zaznamenáno, jak se navigovat podél cesty z počátečního místa do koncového.

Rámec pro práci s mapou je implementován s využitím Robot Operating System (ROS) a ROS Messaging system. Proto i navigační algoritmy jsou implementovány jako ROS uzly, které poskytují standardní rozhraní ve formě ROS Service tak, aby bylo možné volat navigační algoritmy jednotným a transparentním způsobem. Jako součást rámce byly implementovány dva navigační algoritmy využívající laserový dálkoměr: (1) reaktivní navigační algoritmus využívající výpočet generalizovaných Voroného diagramů a (2) navigační algoritmus založený na principu „record and replay“.

První navigační algoritmus lze primárně použít v prostředích, která nejsou apriori známá. Vstupem algoritmu je požadovaný směr, kterým má robot opustit startovní uzel hrany. Dále se robot pohybuje prostředím tak, aby minimalizoval možnost kolize s překážkami do té doby, dokud nedetekuje význačné místo prostředí – koncový uzel hrany. Opakovatelnost tohoto navigačního algoritmu je ovlivňována náhodnými vlivy a změnami v prostředí. Úspěšné překonání hrany do správného koncového uzlu je definováno pouze pravděpodobnostně.

Druhý algoritmus vyžaduje před jeho použitím tzv. učící fázi, ve které jsou zaznamenána data popisující celou trajektorii robotu podél aktuální hrany ve formě reprezentativních laserových snímků prostředí. Tyto reprezentativní snímky jsou ukládány vždy, když spolehlivost lokalizace proti předcházejícímu reprezentativnímu snímku klesne pod definovanou přesnost, nebo když se trajektorie aproximovaná přímkovými spojnici mezi místy snímání reprezentativního snímku odchýlí od skutečné trajektorie o více než definovanou vzdálenost. Tento algoritmus se vyznačuje vysokou mírou opakovatelnosti i v prostředí, které obsahuje dynamické překážky, např. procházející lidé. Kombinací výše zmíněných navigačních algoritmů je dosaženo robustní navigace v rozsáhlých prostředích s možností samostatného prozkoumávání neznámých oblastí.

Pro správnou funkčnost celého systému navigace je nezbytná lokalizace robotu v topologické mapě, tedy rozpoznání místa, ve kterém se robot nachází. Aktuální senzorický popis polohy robotu je porovnáván s popisy míst – uzly topologické mapy. Bylo implementováno 11 lokalizačních algoritmů založených na metodách z oblasti robotiky, počítačového vidění a rozpoznávání pro porovnávání tvarů popsanych polygony. Jmenovitě jsou algoritmy založeny na následujících principech (v abecedním pořadí): FLIRT deskriptory, Fourierova transformace, geometrické momenty, transformace vnitřní vzdálenosti (inner distance), integrální invarianty, víceškálová (multiscale) reprezentace, prstencová projekce (ring projection), scan line, tvarový kontext (shape context), transformace do tangentového prostoru (tangent space) a Zernikovy momenty.

Experimenty prokázaly, že pro různé typy prostředí jsou vhodné různé metody a neexistuje žádná metoda, která by převyšovala ostatní ve všech testovaných prostředích. Pro robustní funkci lokalizace je tedy vždy nutné tyto algoritmy kombinovat.

Vývoj systému pro vizualizaci a modifikaci robotické mise

Další aktivitou byla tvorba prototypů klientské aplikace pro komunikaci mezi robotickým zařízením a lidským operátorem a vizualizaci stavu průzkumné mise, konkrétně realizace univerzálního souboru nástrojů, které umožní operátorům robotických misí v terénu provádět průzkumné operace. V současné chvíli se tento soubor skládá ze tří hlavních prvků.

Prvním z nich jsou robotická zařízení schopná komunikovat po bezdrátové síti, zasílat informace o svém aktuálním stavu na server, odpovídat na požadavky přicházející od uživatele a provádět požadované úlohy. Druhým prvkem je centrální server, jež slouží jako most mezi klientskou

aplikací a roboty – zde se provádí výpočty a směřování příkazů robotům a jejich plánování a zároveň server sbírá data od aktivní skupiny robotů a dle požadavků je zprostředkovává klientům. Klientská aplikace je třetím prvkem, jehož prostřednictvím pracují koncoví uživatelé a operátoři robotů na aktivní úloze. Ve stejnou chvíli může být v jedné průzkumné misi několik aktivních klientských aplikací a tyto mohou současně spolupracovat a podávat informace více uživatelům na různých zařízeních, dokonce i například bez nutnosti fyzické přítomnosti dané osoby na místě, kde průzkum probíhá.

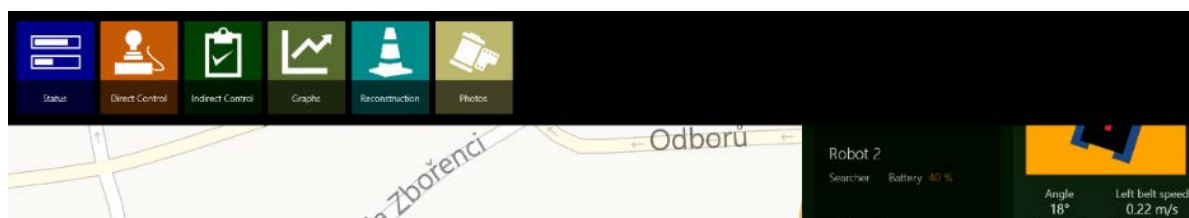
Jako primární cílová platforma pro vývoj této aplikace byl vybrán operační systém Windows 8, resp. později jeho přímý nástupce Windows 8.1. Tento systém nabízí největší flexibilitu z pohledu různých typů podporovaných zařízení (různé form-factors, od malých dotykových tabletů s úhlopříčkou 7 palců, přes větší dotyková zařízení, notebooky a ultrabooky až k velkým desktopovým a all-in-one stanicím), a také různých možností interakce se zařízením – operátor může zadávat své příkazy přes dotykové rozhraní prstem, prostřednictvím přesného stylusu nebo na nedotykových počítačích pomocí klasické myši. Navíc nás v případě zařízení s Windows méně omezuje výkon zařízení (velké množství z nich je především cíleno na business sféru a náročnější případy užití) a získáváme plnohodnotný multitasking s jinými aplikacemi či programy na rozhraní plochy, čehož může operátor s výhodou využít při zadávání dat či zapisování výsledků průzkumu.

Při tvorbě klientské aplikace jsme se chtěli držet hlavních myšlenek filosofie, kterou mají dodržovat všechny aplikace pro prostředí Windows 8 – rychlost a plynulost, koncentrace na obsah a cíl uživatele. Abychom tohoto byli schopni dosáhnout, od samého začátku návrhu jsme aplikovali proces zvaný user-centred design.

Návrh a realizace demonstrátoru Systému pro multi-robotické plánování

Návrhy firmy Certicon, která systém vyvíjela, byly vždy diskutovány s odborníky na robotiku z ČVUT FEL a ty tak vycházeli vstříc požadavkům, které zajímají právě cílovou skupinu uživatelů, kteří aplikaci budou využívat v reálném prostředí.

Jedním ze základních pilířů návrhu aplikace je rychlá a snadná navigace. Protože operátor robotického systému potřebuje mít kdykoliv možnost se pohybovat z jednoho bodu uživatelského prostředí na jiný a musí být schopen rychle střídat různé aktivity, rozhodli jsme se namísto umístění navigace klasicky na hlavní stránku aplikace umístit navigaci jako skrytý horní panel, který lze kdekoli v aplikaci rychle otevřít a okamžitě využívat. Navíc tímto získáváme opravdu 100 % prostoru pro obsah – toto dodává celému prostředí velkou flexibilitu.



Navigační panel po rozbalení horní nabídky

Aplikace je členěna na jednotlivé ovládací obrazovky, které je možné dle požadavků rozšiřovat a upravovat. Protože je aplikace přímo napojena na server, který jí zprostředkovává vždy aktuální data, jsou všechny informace, které operátor potřebuje vždy k dispozici téměř v reálném čase, samozřejmě pokud vezmeme v úvahu omezení přenosové rychlosti mezi roboty a serverem a klientskou aplikací a serverem.

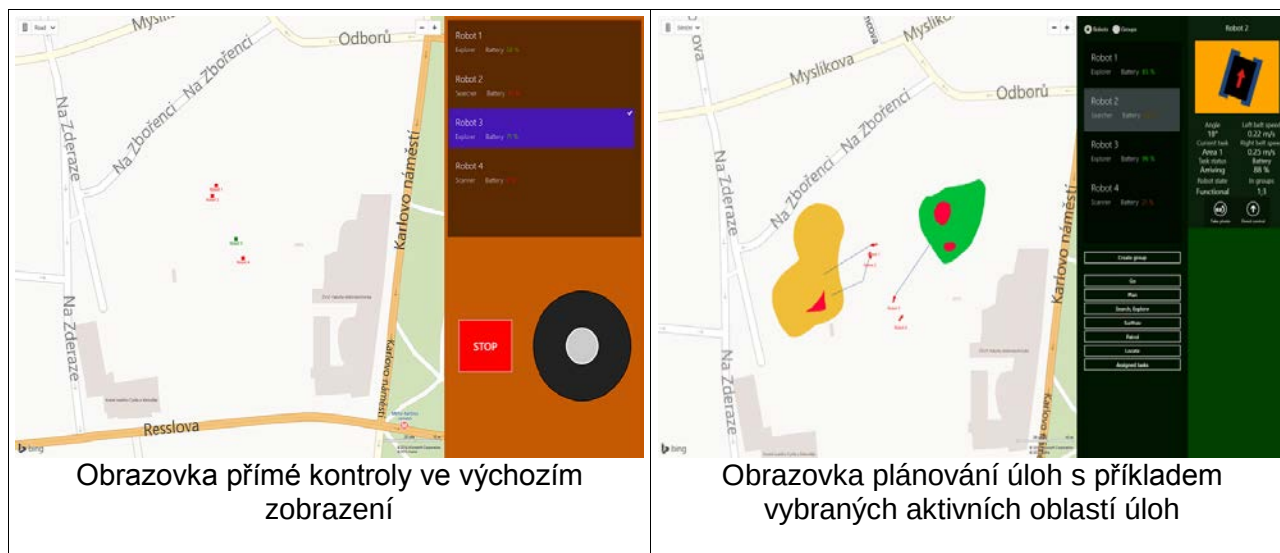
Obrazovka Status slouží ke zjišťování informací o aktuálním stavu všech aktivních robotů, pro prohlížení jejich konzolových zpráv, kontrolu stavu připojených senzorů a v neposlední řadě také čtení případných varovných signálů, které by provoz senzoru nebo robota mohly narušit.

Klientská aplikace pro vizualizaci stavu robotů nabízí dvě cesty pro ovládání – přímou kontrolu nebo plánování úloh. Pro přímou kontrolu má operátor k dispozici aktivní virtuální joystick, kterým může přímo kontrolovat pohyb vybraného robota na mapě. K dispozici je zobrazení lokace jednotlivých robotů a jejich seznam. Po výběru robota je možné přepnout seznam robotů na zobrazení kompaktních informací o některém z aktivních senzorů či zobrazení dat z kamery. Díky tomu je práce operátora snadnější a má také k dispozici více dat o prostředí, ve kterém se robot pohybuje.

Na příkladu přímého ovládání je vidět i jeden z důležitých výsledků uživatelského testování použitelnosti – protože operátoři potřebují mít co nejvíce využitelného prostoru, je možné zobrazit mapu na celou obrazovku a ovládací prvky zobrazit jako semi-transparentní. Navíc je možné přepnout na mód pro leváky, kterým vyhovuje umístění ovládacích prvků a především joysticku na levé straně výrazně lépe.

Oblastí, na kterou se vývoj v současné chvíli soustředí primárně, je obrazovka pro plánování úloh robotů. Ta nabízí mnoho způsobů interakce nejen s roboty jednotlivě ale také ve skupinách. Na základě výběru typu operace (Go, Plan, Search & Explore, Surfnv, Patrol, Locate) dostává operátor přímo specifické ovládací prvky na výběr cílových oblastí, označování a vytváření skupin a přiřazování nových úloh do fronty.

Pracujeme také na možnosti zobrazení reprezentace reálného prostředí v prostoru pomocí trojrozměrných bodových mračen z dat, které poskytují jednotlivé senzory robotů. Tato data spolu s kamerovými podklady následně budou sloužit k rekonstrukci prostředí a k prohlížení jednotlivých klíčových momentů z průběhu průzkumné mise.



2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Finalizován vývoj základních trénovacích, testovacích a evaluačních korpusů (tj. proveden cílený sběr, anotace a verifikace akustických a jazykových dat) pro vybrané aplikační oblasti, finalizován

vývoj nových metod a postupů hlasové interakce člověka se strojem (počítačem) ve formě laboratorních modulů.

Byly kompletovány korpusy pro trénování, testování a evaluaci akustického a jazykového modelu vybrané aplikační oblasti, tj. z domény televizních politických diskusních pořadů. Byly vytvořeny metody pro konstrukci akustického a jazykového modelu pro vybranou aplikační oblast ve formě laboratorních modulů.

2b Dílčí cíle

Systém pro multi-robotické plánování

Systém v podobě knihovny komponent, který bude vycházet z budovaného konceptu Velkých map a plánovacího rámce vyvíjeného na ČVUT. Tento systém bude doplněn o efektivní rozhraní člověk-stroj umožňující vizualizaci a interaktivní modifikaci plánu mise (jejích parametrů) s možností přeplánování. Systém bude nejdříve vyvíjen v off-line verzi s využitím dostupných reprezentací rozličných prostředí a následně bude rozšířen o uvažování nově budovaných znalostí a modelů aktuálního prostředí. Dílčího cíle bude dosaženo demonstrátorem základních funkcionalit systému, tj. dílčím výstupem WP6-DV1 - zprávou s popisem parametrů systému a video záznamem s demonstrací jeho použití.

Dílčího cíle bylo dosaženo demonstrátorem základních funkcionalit systému, tj. dílčím výstupem WP6-DV1, který je popsán v bodě dílčí výstupy.

2c Dílčí výstupy

Systém multi-robotického plánování dohledových misí

Demonstrační technologická jednotka dílčího cíle WP6-DC1, balík softwarových knihoven a video záznam s demonstrací jeho použití.

Dílčí výstup je realizací aktivit činností probíhajících v letech 2012-13 a zahrnuje balík softwarových knihoven pro prohledávání neznámého prostředí. Tento balík byl spolu s nejdůležitějšími výsledky z experimentů představen na konferenci ICAPS 2013. Video z demonstrací budou prezentována během oponentního řízení. Dílčí výstupy jsou samostatnou přílohou odborné zprávy.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Výsledky nebyly v roce 2013 pro tento pracovní balíček v návrhu projektu plánovány. Přesto vznikly následující výsledky:

[J – recenzovaný odborný článek] Kulich, M. - Chudoba, J. - Košnar, K. - Krajník, T. - Faigl, J. - et al.: SyRoTek - Distance Teaching of Mobile Robotics. *IEEE Transactions on Education*. 2013, vol. 56, no. 1, p. 18-23. ISSN 0018-9359.

[G_{funk} Funkční vzorek] Chudoba, J. - Faigl, J. - Krajník, T. - Kulich, M. - Přeučil, L. - et al.: SyRoTek - experimentální a tréninková aplikace pro mobilní robotiku. [Funkční vzorek], 2013.

[D – článek ve sborníku] Košnar, K. - Vonásek, V. - Kulich, M. - Přeučil, L.: Comparison of Shape Matching Techniques for Place Recognition. In *Proceedings of 6th European Conference on Mobile Robots*. Barcelona: Institut de Robòtica i Informàtica Industrial, 2013.

[D – článek ve sborníku] Vonásek, V. - Saska, M. - Košnar, K. - Přeučil, L.: Global Motion Planning for Modular Robots with Local Motion Primitives. In *ICRA2013: Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Piscataway: IEEE, 2013, . ISBN 978-1-4673-5642-8.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Řešení pracovního balíčku 6 probíhá standardním způsobem. V průběhu roku 2014 budou řešeny dílčí cíle dle návrhu projektu a nejsou očekávány žádné zásadní změny ve strategii řešení tohoto balíčku. Spolupráce výzkumné skupiny na ČVUT v Praze a partnerů ve spolupracující firmě Certicon s.r.o. probíhá bez problémů.

Pracovní balíček 7

Metody strojového vnímání pro průmyslové a jiné aplikace

1 Popis činností

V roce 2013 byly v rámci pracovního balíčku 7 řešeny úkoly v souladu s plánem pro toto období. Dle plánu byly vykonávány činnosti v těchto tematických směrech:

- Reflektometrie, vývoj měřicího zařízení a funkčního vzorku, experimenty
- 2 ruká robotická manipulace, vývoj metod pro základní funkčnost a taktilní zpětnou vazbu.
- SLAM, výzkum, vývoj a přizpůsobení metod pro průzkum neznámého prostoru
- v hasičských aplikacích
- Strukturního rozpoznávání pomocí 2D gramatik

V roce 2013 pokračoval výzkum a vývoj obecných metod zpracování obrazové informace a rozpoznávání, které jsou základem pro realizaci konkrétních projektů či zařízení. Na rozdíl od předchozího období jsme zvýšenou pozornost věnovali aplikaci obecných metod na při řešení konkrétních úkolů. Při řešení konkrétní aplikací se uskutečňuje spolupráce zejména s firmou Neovision, která je v rámci tohoto balíčku naším hlavním průmyslovým partnerem a členem konsorcia.

Od začátku projektu se tým snaží vyhledávat také nové aplikace využívající metody zpracování obrazu. V rámci této aktivity se nám podařilo identifikovat zájem o systém pro počítání procházejících osob a o systém pro časový sběr údajů. Obě tyto zařízení nyní vyvíjíme. Na druhou stranu byla proti původnímu plánu omezena naše spoluúčast na řešení úlohy SLAM.

Reflektometrie, vývoj měřicího zařízení, experimenty

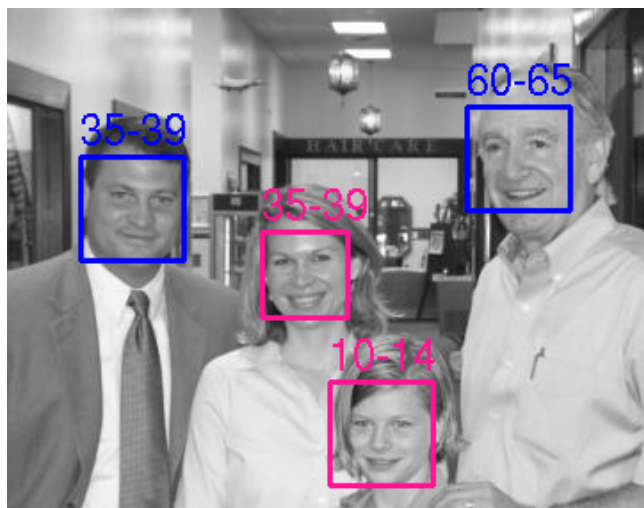
Reflektometrie, vývoj funkčního vzorku

Cílem je vyvinout zařízení pro kontrolu kvality povrchu zejména lesklých výrobků metodou reflektometrie. Povrch je kontrolován na základě sledování odrazu známého obrazce, který se zrcadlí na kontrolovaném povrchu. V roce 2012 byly pořízeny první snímky, které dokládají fyzikální realizovatelnost tohoto přístupu. V uplynulém období jsme se proto soustředili na vývoj funkčního vzorku, který by měl být dokončen v následujícím roce. Na vývoji tohoto zařízení úzce spolupracuje výzkumný tým společnosti Neovision a ČVUT.

Nedílnou součástí prakticky uplatnitelného zařízení musí být také algoritmy automatické detekce vad povrchu. Jako základ automatické detekce vad vyvíjíme metody detekce významných bodů a klasifikace na základě obrazové informace. V uplynulém období proto pokračoval výzkum možností strukturních a ordinálních klasifikátorů. Funkčnost algoritmů je demonstrována na obecných příkladech. Implementace pro detekci vad bude prováděna v návaznosti na realizaci měřicího zařízení, které poskytne data pro nastavení klasifikátorů.

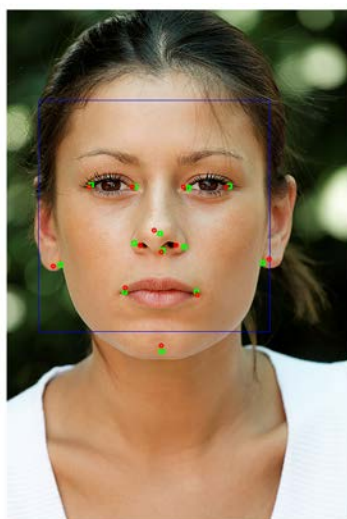
V roce 2013 probíhaly práce na vývoji nových metod strojového učení z částečně anotovaných dat. Pozornost se soustředila na klasifikátor pro „ordinál regresion“. Podařilo se nám ukázat, že klasifikační pravidla použitá tímto klasifikátorem jsou ekvivalentní skupině lineárních klasifikátorů. To umožňuje vytvořit nový algoritmus jeho učení za pomoci metod učení lineárních klasifikátorů. Můžeme odvodit i nové modely pro „ordinal regression“. Například je možno převést učení klasifikátoru s prakticky libovolnou ztrátovou funkcí na dobře řešitelný problém konvexní minimalizace rizika. Ekvivalence úloh nám umožňuje zvýšit diskriminativní schopnost klasifikátoru

bez nutnosti použít složitější klasifikátor. Funkčnost navržených metod klasifikace je dokumentována na úloze odhadování věku z fotografie (Obr. 1).

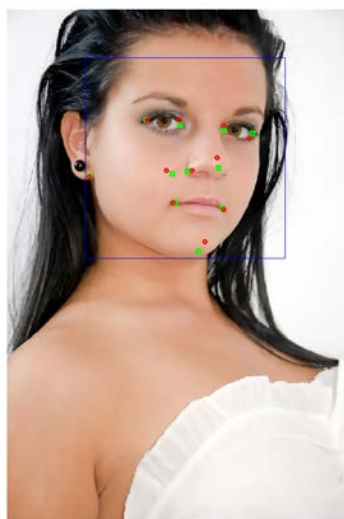


Obr. 1: Využití ordinálního klasifikátoru pro odhad věku osoby na základě snímku obličeje

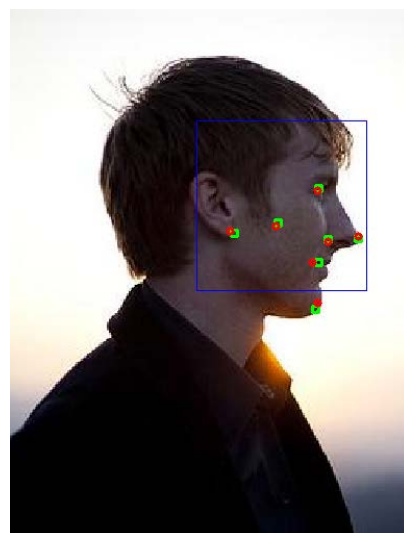
Uvedená ekvivalence ordinálního a lineárního klasifikátoru nám dává možnost upravit ordinální klasifikátor pro učení z částečně anotovaných dat, které jsme navrhli v předešlém období. Byla nalezena ztrátová funkce, která umožňuje měřit odchylku mezi predikcí ordinálního klasifikátoru a částečnou anotací tvořenou množinami přípustných označení jednotlivých příkladů. Tuto ztrátovou funkci je možné nahradit obecnou konvexní funkcí a zjednodušit tak úlohu učení. Experimenty na standardních testovacích datech ukazují, že učení ordinálního klasifikátoru z částečně anotovaných dat je srovnatelné s učení z plně anotovaných dat.



(a)



(b)



(c)

Obr. 2: Ukázka použití knihovny CLANDMARK pro detekci významných bodů na snímku obličeje. Použitý detektor umožňuje detekci bodů na snímcích pořízených z různého úhlu: a) z předu, b) poloprofil, c) profil.

I v tomto období byla věnována pozornost vývoji detektoru významných bodů. Byla vyvíjena knihovna CLANDMARK, která je zobecnění v minulém roce připravené knihovny FLANDMARK. V knihovně CLANDMARK může uživatel již snadno definovat konfiguraci jednotlivých významných bodů a po provedení trénování snadno získá vlastní detektor. Knihovna dovoluje snadno změnit typ příznaků pro detekci, použitou ztrátovou funkci nebo graf popisující vzájemné interakce významných bodů. Použití knihovny je dokumentováno realizací detektoru významných bodů na lidské tváři (Obr. 2). Knihovna je napsána v jazyce C++ a obsahuje také interface pro MATLAB nebo Python. Knihovna je popsána v článku připraveném k prezentaci na CVWW v únoru 2104:

Pokračoval také vývoj algoritmu pro učení strukturálních klasifikátorů. Výsledek byl prezentován v článku [Uřičař-SCIA2013]. Vylepšený algoritmus učení strukturních klasifikátorů je součástí knihovny CLANDMARK.

Výzkum a vývoj 2 ruké manipulace s optickou a taktilní zpětnou vazbou, dosažení základní funkčnosti

V roce 2013 bylo připraveno programové vybavení pro pohyb dvourukého manipulátoru. Pro jeho realizaci bylo využito prostředí ROS (robot operating systém), které umožňuje integrovat knihovny různých vývojářů. Bylo využito standardních knihoven pro detekci kolizí a výpočet kinematiky manipulátoru. Naše rozšíření spočívá v implementaci pohybu rukou při dodržení podmínky vzájemné polohy. Ruce mohou pohybovat buď ve stálé vzájemné vzdálenosti, nebo ve vzdálenosti, která nepřekročí zadané maximum. To zajišťuje, že při manipulaci s látkou či jiným měkkým materiálem nedojde k jeho roztržení.

Koncem roku 2013 byly také realizovány algoritmy pro zpětnovazební řízení na základě údajů silových snímačů. Jde však zatím o jednoduchou implementaci, kterou bude nutno dále vyvíjet. Omezením je nyní velké dopravní zpoždění v uzavřené zpětnovazební smyčce. Jeho omezení si však vyžádá zásadnější zásah do metody řízení pohybu, tak aby i při zvýšené rychlosti byl zajištěn pohyb bez kolizí. Velkou výhodou realizace těchto algoritmů je získání zkušeností s nasazením ROS v průmyslových aplikacích.

V průběhu řešení se jako zásadní problém objevila omezení daná plánovacími algoritmy. Konfigurační prostor (prostor kloubových souřadnic) je nelineární a velmi komplexní (13 os). Proto se pro plánování používají algoritmy náhodného prohledávání, které však neposkytují opakovatelné ani optimální výsledky. Proto v následujícím období bude snaha zdokonalit plánování kombinací náhodného prohledávání, omezení na základě známé kinematiky manipulátoru a dříve nalezených a optimalizovaných tras.

Tým společnosti Neovision (člen konsorcia) ve spolupráci s výzkumným týmem ČVUT dokončil výrobu funkčního vzorku „smart“ senzoru TripCount3D pro počítání osob procházejících vymezenou zónou s rozlišením směru průhybu. Senzor pracuje s 3D obrazem snímaného prostoru. Oproti podobným sensorům využívajícím pouze obrazové (2D) informace umožňuje dosáhnout vyšší spolehlivosti. Jde o aplikaci metod zpracování 3D měření a detekce významných bodů objektů v hloubkových mapách. Senzor pracuje autonomně, s okolím komunikuje přes TCP/IP a informace poskytuje prostřednictvím webového rozhraní. Zařízení umožňuje napájení jak z běžného adaptéru 5V, tak i přes Ethernet (PoE). Funkčnost senzoru a jeho spolehlivost byla otestována v podmínkách budovy, v níž jsou umístěny kancelářské prostory společnosti Neovision. V následujícím období jsou naplánovány zátěžové testy v podmínkách vysoké hustoty pohybu lidí.

SLAM, výzkum, vývoj a přizpůsobení metod pro průzkum neznámého prostoru v hasičských aplikacích

V uplynulém období probíhal vývoj a implementace algoritmů SLAM na pásovém robotnickém vozidle. Na základě kontaktů se zástupci záchranných sborů byl vytipován pohyb v troskách budov (následky zemětřesení) a pohyb na kolejišti (vlakové neštěstí) jako modelový případ využití záchrannářského robotu. Na základě našich zkušeností byl také zahrnut pohyb ve venkovním přírodním prostoru s překážkami (les).

Pro lokalizaci a mapování jsou využity údaje z inerciální navigační soustavy, které jsou kombinovány s obrazovou informací z kamer (2D) a laserového dálkoměru (3D). V rámci algoritmů SLAM jsou použity algoritmy pro detekci významných bodů a rozpoznávání jednoduchých objektů. V rámci tohoto směru výzkumu jsme se věnovali také vývoji algoritmu sledování objektu s kontextem. Sledování je v tomto případě založeno na skutečnosti, že se sledovaný objekt pohybuje často spolu s dalším objektem a tohoto faktu je možné využít pro zvýšení robustnosti sledování, což je žádoucí zvláště ve složitém prostředí. Funkčnost algoritmů SLAM byla úspěšně ověřena při pohybu v lese, na kolejišti i v budovách.

Výzkum a vývoj metod strukturního rozpoznávání pomocí 2D gramatik pro vstup informace na tabletech

V roce 2013 byl v rámci tohoto projektu zahájen výzkum a vývoj v oblasti využití strukturního rozpoznávání pro vkládání rukou kreslených grafických náčrtků, diagramů či matematických vzorců do počítače. Cílem je vyvinout algoritmy, které budou rozpoznávat dané grafické prvky přímo při kreslení. Například tak bude možné zapsat matematický vzorec rukou (na tabletu) v obvyklé grafické podobě a ten bude souběžně automaticky převeden do formalizovaného zápisu programovacího jazyka či zdrojového kódu programu pro sázení textů.

V minulém roce byl vyvinut algoritmus pro rozpoznání rukou kreslených náčrtků, které jsou interpretovány na základě kombinatorické optimalizační úlohy max-sum. Algoritmus nejdříve seskupí linie, které pravděpodobně reprezentují jednotlivé kandidáty na objekty a stanoví vztahy mezi nimi. Poté je vybrána nejlepší možná kombinace objektů a vztahů na základě řešení optimalizační úlohy. Obecný algoritmus byl naučen a testován pro rozpoznávání vývojových diagramů. Tento algoritmus by prezentován na konferenci ICDAR 2013 [Bresler-ICDAR2013].

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Reflektometrie, dvojruká manipulace a další. Budeme přenášet nabytou akademickou i praktickou znalost strojového vnímání a inteligentní robotiky do nových aplikačních oblastí. Prvním příkladem je již rozpracovaná oblast reflektometrie, což je metoda dovolující kontrolovat kamerovým systémem kvalitu lesklého povrchu. Jednou z mnoha aplikací je kontrola nastříkání karosářských dílů nebo celé karosérie v automobilovém průmyslu. Druhým také již rozpracovaným příkladem je manipulace robotickým systémem se dvěma pažemi a sdílejících společný manipulační prostor. Zaměříme se na manipulaci z měkkými materiály. Milníkem bude přenos těchto a jiných technologií do aplikací. Některé aplikace ještě neznáme, protože zákazníci se zjeví až v době řešení projektu.

V rámci projektu probíhá vývoj metody měření povrchů, který bude v následujícím období realizován jako funkční vzorek s výhledem na uplatnění metody u konkrétního zákazníka. Také vývoj v oblasti robotické manipulace přináší již nyní kontakty na další průmyslové zákazníky, s nimiž začínáme spolupracovat. V uplynulém období byly identifikovány dvě nové potenciální aplikace. Jde o časový sběr vizuální informace autonomním systémem. Systém provádí záznam údajů na základě časového rozvrhu a informací z připojených čidel. Druhou aplikací je počítání

osob procházejících sledovanou oblastí. Zjišťován je také směr pohybu osob. Dle našeho názoru se tak daří přenos technologií do aplikací zajistit v předpokládaném rozsahu.

2b Dílčí cíle

SLAM, funkční vzorek pro hasičské aplikace, sw knihovny

Máme k dispozici robot vybavený potřebnými senzory. Bylo připraveno potřebné programové vybavení, které umožňuje orientaci a pohyb robotu ve venkovním prostředí či prostředí s malou průchodností (les, trosky budov apod.). Vývoj zde probíhá ve spolupráci s vývojovým týmem projektu NIFTi.

2c Dílčí výstupy

SLAM, demonstrace funkčního vzorku pro hasičské aplikace

Pásový robot s použitím vyvinutého programového vybavení byl testován při pohybu v lese, na kolejišti a v troskách budov (odpovídá železničnímu neštěstí, následkům zemětřesení). Bylo ověřeno, že robot je schopen se v takovém prostředí částečně autonomně pohybovat a zajistit základní mapování takového prostoru.

2d Výsledky dle kategorie RIV

V roce 2013 nebyl v rámci pracovního balíčku 7 plánován žádný výsledek dle kategorií RIV. V tomto roce však byly některé z vyvíjených metod a algoritmů prezentovány na vědeckých konferencích. Vznikly také dvě technické zprávy. Tyto příspěvky budou samozřejmě zařazeny do databáze RIV.

- [1] Kostiantyn Antoniuk. Discriminative methods for semi-supervised learning. Research Report K333-48/13, CTU-CMP-2013-22, *Department of Cybernetics, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University, Prague, Czech Republic*, August 2013.
- [2] Martin Bresler, Daniel Průša, and Václav Hlaváč. Modeling owchart structure recognition as a maxsum problem. In Lisa O'Conner, editor, *ICDAR 2013: Proceedings of the 12th International Conference on Document Analysis and Recognition*, pages 1215–1219, 10662 Los Vaqueros Circle, Los Alamitos, USA, 2013. IEEE Computer Society.
- [3] Michal Uříčář, Vojtěch Franc, and Václav Hlaváč. Bundle Methods for Structured Output Learning |Back to the Roots. In Joni-Kristian Kämäräinen and Markus Koskela, editors, *SCIA 2013: Proceedings of the 18th Scandinavian Conference on Image Analysis, volume 7944 of Lecture Notes in Computer Science*, pages 162–171, Heidelberg, Germany, June 2013. Aalto University, Finland, Springer.
- [4] Michal Uříčář. Multi-view facial landmark detector – PhD thesis proposal. Research Report K333-47/13, CTU-CMP-2013-21, *Department of Cybernetics, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University, Prague, Czech Republic*, August 2013.
- [5] Petr Zuzánek, Karel Zimmermann, and Václav Hlaváč. Detection of Curvilinear Objects in Aerial Images. In Walter G. Kropatsch, Geetha Ramachandran, and Fuensanta Torres, editors, *CVWW 2013: Proceedings of the 18th Computer Vision Winter Workshop*, pages 9–15, Karlsplatz 13, Vienna, Austria, February 2013. Vienna University of Technology.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Na základě výše uvedeného postupu řešení a s ohledem na prováděné činnosti v roce 2013 konstatujeme, že řešení projektu probíhá v souladu s plánem a našimi předpoklady. Můžeme konstatovat, že plánované činnosti byly vykonány v souladu s plánem a bylo dosaženo plánovaných cílů.

V rámci řešení úkolů pracovního balíčku 7 úzce spolupracuje vývojový tým ČVUT s týmem společnosti Neovision, s.r.o., která je členem konsorcia a klíčovým průmyslovým partnerem zejména v rámci tohoto pracovního balíčku. Spolupráce probíhá také s pracovištěm VUT Brno, kde řeší pracovní balíček 8 (Kamerové zařízení a metody analýzy obrazu pro monitorování dopravy a v průmyslu), a s vývojovým týmem řešícím pracovní balíček 6 (Komponenty robotického systému interakce člověk-stroj).

V roce 2014 bude pokračovat jak vývoj metod a algoritmů, tak jejich implementace v konkrétních aplikacích. V příštím roce by měl být dokončen funkční vzorek zařízení pro reflektometrické měření povrchu těles. Předpokládáme, že realizace funkčního vzorku potvrdí správnost navrhovaného řešení a umožní nám, ve spolupráci s firmou Neovision, pokračovat v implementaci ověřené metody v průmyslu. Výzkumným tématem v rámci robotické manipulace pak bude zpracování taktilní informace a především algoritmy plánování. V souladu s plánem budeme také pracovat na rozpoznávání s pomocí 2D gramatik a algoritmech SLAM: Rádi bychom se i v následujícím období věnovali také práci na senzoru pro počítání osob (TripCount3D) a na systému pro časový sběr vizuálních dat (záznam událostí).

Pracovní balíček 8

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

1 Popis činnosti

Sada specializovaných osvětlovacích prvků pro řešení obtížných průmyslových úloh inspekce.

Vývoj a realizace zařízení pro pořízení obrazu asistenčního systému v dopravní úloze.

V minulém období byly řešeny problémy spojené s osvětlením a pořízením obrazu vzorku určeného pro inspekci, výjimečně také pro dopravní úlohy.

Konkrétně bylo pořízeno popř. navrženo, sestaveno a proměřeno několik více či méně modulárních iluminačních soustav zejména pro průmyslové úlohy zahrnující VIS, NIR i UV část spektra. Zmínit je vhodné zejména vláknový zdroj s prstencovými koncovkami (Fiber Optical Illuminator), kruhový zdroj difuzního osvětlení (LED Ring Lamp), bodové a liniové lasery pro přesné triangulační úlohy (využito např. pro již zmíněnou kontrolu profilu jeřábových kol), dále pak vlastní optické válce, reflektory a velké maticové difuzory (rovinný a zakřivený). V neposlední řadě byly tyto prvky doplněny o nutné opto-mechanické prvky Standa/Edmund Optics pro laboratorní realizace (endoskop, filtry, mechanika) a navržena pracoviště pro známé úlohy s ověřením funkce komponent.

Obdobným způsobem byla navržena a realizována platforma pro pořízení obrazu asistenčního systému řidiče. Je založena na průmyslové kameře ProsilicaGC 1290 popř. ProsilicaGC 1290C s protokolem GigE a využívající PoE. Platforma byla použita pro verifikaci jak HW systému, tak i knihovny pro zpracování obrazové informace (pro základní ověření bylo pořízeno cca 8 GB dat v reálném provozu).

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

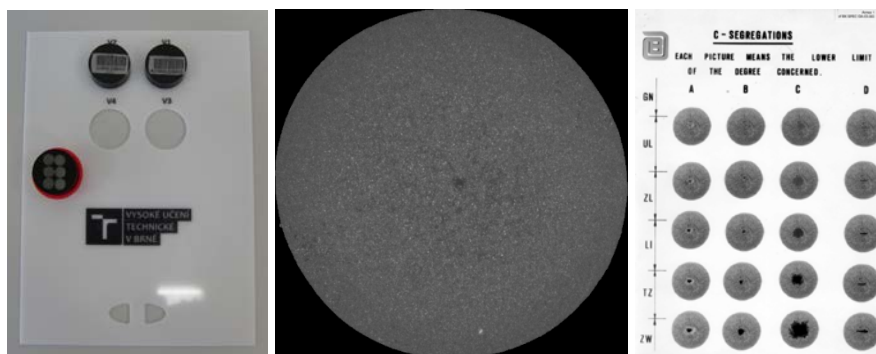
Milník je tvořen navrženými technikami, rozvojem technologií a testováním algoritmů zpracování a analýzy obrazu v dopravních aplikacích. Realizované produkty založené na teoretickém výzkumu budou transferovány z akademického prostředí do praxe pomocí zavedeného partnera pracovního balíčku pomocí již zavedených popř. nově ustanovených mechanismů. Metody, postupy a navržená zařízení pro dopravní a průmyslové aplikace budou realizována a přenesena do praxe stejným postupem, jako celá řada dřívějších produktů a služeb.

Milníkem tohoto pracovního balíčku pro rok 2013 jsou obecně dopravní a průmyslové aplikace počítačového vidění využívající zpracování obrazu. Zde jsou vybrané aplikace (z prostorových důvodů pouze některé) popsány podrobněji včetně definice úlohy, návrhu hw a sw popř. průběhu testování.

Systém pro automatické vyhodnocení materiálové segregace

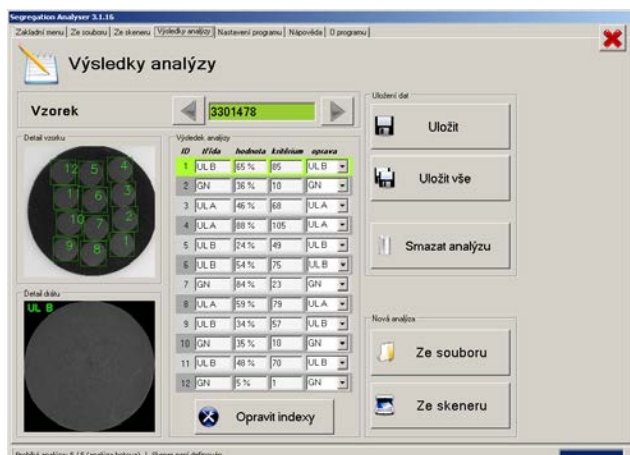
Tento systém byl vyvíjen od začátku projektu a úspěšně dokončen ve sledovaném období. Jde o systém pro hodnocení materiálové nehomogenity ocelových drátů tj. o stanovení míry segregace příměsí (zejména uhlíku) v železe. Úloha obsahuje všechny obvyklé prvky aplikace počítačového vidění od pořízení obrazu, přenosu dat, přes zpracování obrazové informace až po servisní služby typu export statistických dat, archivace, srovnávací měření apod. Celý proces měření a vyhodnocení je zcela automatický, v každém kroku je však umožněn zásah operátora jako vyšší autority např. oprava indexace drátů, pokud nejsou alespoň přibližně ve standardním ortogonálním rastru.

Pořízení obrazových dat je prováděno skenerem a představuje tak vysoký objem dat. Snímek celého kotouče, který je třeba přenášet ze zařízení do počítače a provést základní analýzu (lokalizaci drátů, stanovení typu vzorku a zarovnání do mřížky), má velikost necelých 60 Mpxl. V typickém kotouči je zpravidla umístěno šest nebo 12 drátů, každý reprezentován snímkem o velikosti od 1 do 3 Mpxl. Zpracování takto vysokého objemu dat bylo náročné na implementaci algoritmů zpracování obrazu.



Kritickým místem obrazové analýzy bylo určení středové oblasti segregace (tmavá oblast na snímku drátu) a stanovení třídy a typu segregace. Tyto vlastnosti jsou dány normou, třída segregace je např. definována jako GN, UL, ZL, LI, TZ nebo ZW, typ pak jako A, B, C nebo D. Každý drát je tak možné zařadit do jedné z 24 tříd, navíc bylo nutné stanovit míru příslušnosti ke třídě na úrovni setiny třídy např. UL 14 %. Tento požadavek kladl vysoké nároky na přesnost a robustnost navržených metod zpracování obrazu.

Byly navrženy jak řídicí mechanismy pro snímání obrazu (vlastní knihovna řízení skeneru, nastavení parametru expozice apod.) tak zejména algoritmy zpracování obrazu samotného drátu. Ve zkratce lze sekvenci procedur vyjádřit jako: segmentace kotouče ve skenovací šabloně, lokalizace a indexace jednotlivých drátů, výpočet statistických hodnot regionů drátu, stanovení třídy a typu segregace, report měření kotouče. Uvedené řídicí mechanismy (ovladače) a metody zpracování obrazu byly zakomponovány do aplikace Segregation Analyser jež je kompletním nástrojem pro měření a správu kotoučů.



Podrobnější popis aplikace, nastavení, vlastností a funkcí algoritmů přesahuje rámec tohoto textu a je zpracován ve vlastním dokumentu Dokumentace Segregation Analyser 3.1 (45 stran). Metodika hodnocení a verifikační testy celého systému pak byly provedeny a zdokumentovány ve

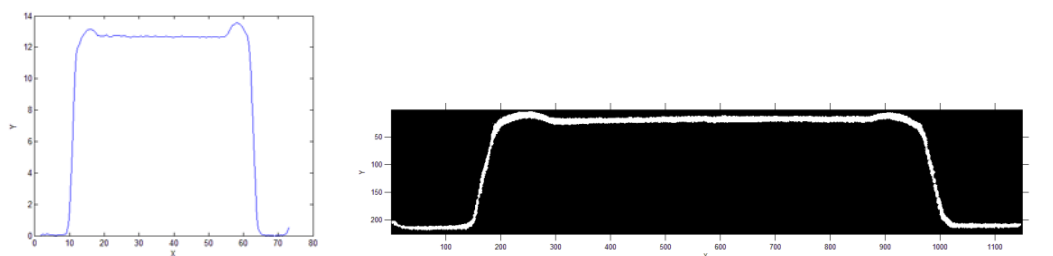
dvou vlastních dokumentech Hodnocení segregaci - Pilir I. stabilita (24 stran) a Hodnocení segregaci - Pilir II. funkce (29 stran). Všechny dokumenty jsou volně dostupné na vyžádání.

Kontrola profilu jeřábových kol

Smyslem úlohy dopravní aplikace pro optické měření profilů jeřábových kol je snížení technické a ekonomické náročnosti následné opravy opotřebovaných jeřábových kol a to včasnou lokalizací problematických úseků kola. Proto byla nejprve vypracována rešerše metod pro měření profilů kol ve specifikovaných rozměrech, které měly relativně velký interval. Nejmenší uvažovaná kola mají průměr necelých 300 mm, šířku pro snímání 80 mm a váhu 19 kg. Na druhé straně rozměrná kola dosahují průměru 750 mm, šířky pro snímání 160 mm a váhy 244 kg. Zejména snímací šířka definovala parametry měřicího systému.



V experimentální fázi byly uvažovány různé způsoby rekonstrukce povrchu kola tj. měření jeho profilu. Mezi zkoumané patří jak základní snímače vzdálenosti (laserový L-LAS), aktivní a pasivní triangulace, tak i interferometrie a TOF snímače. Laboratorní model byl sestaven na bázi aktivní triangulace, jež je pro tento účel nejvhodnější a proto nejvíce využívána (snímače Acuity, Keyence, MicroEpsilon, Mtilnstruments, Riftek a další). Byla provedena řada opakovaných měření s triangulačním měřidlem Riftek IKP-5 a na vytvořeném pracovišti aktivní triangulace s průmyslovou kamerou Imaging Source s rozhraním GigE a přesným měřicím liniovým laserem 635 nm Precilas. Implementované metody zpracování signálu a obrazu umožnily vyhodnocení profilů měřených kol a určení statistických veličin pro stanovení míry opotřebení (propad hlavní pracovní části kola, opotřebení nákolků apod.).



Měření byla vyhodnocena a zpracována do vlastního dokumentu Optické měření profilů jeřábových kol (35 stran).

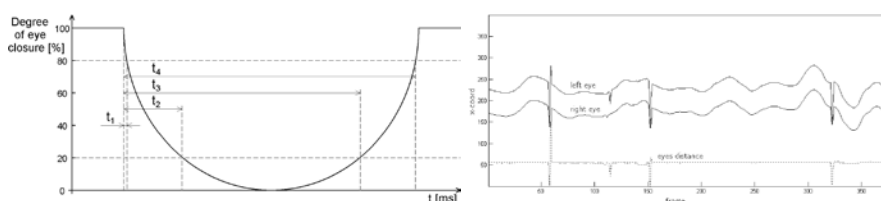
Asistenční systém řidiče vozidla

Úloha je zástupcem dopravních aplikací ve třídě asistenčních systémů řidiče (komplementární je třída vnějších přestupkových systémů). V rámci této úlohy bylo z předchozího období

pokračováno ve vývoji zařízení pro snímání a zpracování obrazu řidiče za jízdy v reálném čase. S úlohou se kromě knihovny zpracování obrazu (metody filtrace a segmentace) pojí vývoj zařízení pro zpracování vysokého objemu dat, konkrétně jednotka pro přenos dat s konstantní latencí a nízkým jitterem. Reálné provedení využívalo průmyslové kamery Allied Vision technologies řady ProsilicaGC (model 1290) a Manta (G-125) a záznamové zařízení typu NB a embedded PC.



Zpracování pořízeného obrazu umožňuje analýzu chování řidiče zejména z hlediska únavových charakteristik (PERCLOS, ECD, BF apod.) a doplňuje tak ostatní asistenční systémy jako např. již dříve vyvinutý detekční systém dopravního značení.

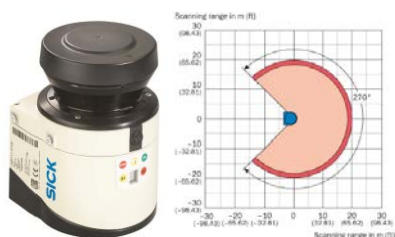


Pro zpracování obrazu a extrakci charakteristik byly implementovány filtrační a segmentační metody, algoritmy pro extrakci symetrických příznaků, Haarovy příznaky a další. Důležitým výsledkem řešení je příspěvek do interní knihovny zpracování obrazu (ImProc viz výstupy) pro specifikovaný typ úloh a hardwarové řešení přenosu dat na bázi FPGA platformy využívající procesor Xilinx řady Spartan 6.

Autonomní navigace vozidla

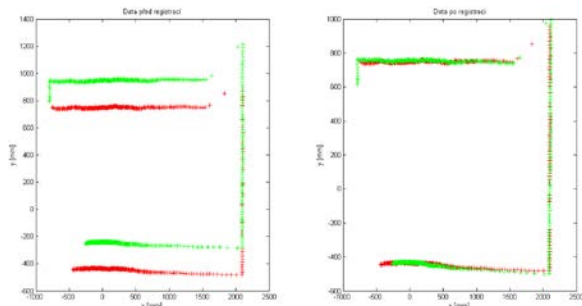
Z hlediska asistenčních systémů se paralelně vyvíjí také systém pro měření okolí vozidla s cílem podpory řízení nebo zcela automatické navigace vozidla (zde je pracovní balíček provázán s robotickými úlohami ve WP4 na úrovni sdílení informací, zařízení, konzultací apod.).

Pro zpracování dat z laserového snímače SICK LMS111 bylo opět třeba uvažovat hardwarové zpracování (frekvence snímače 50 Hz). Kromě počáteční rešerše metod pro 2D i 3D SLAM (ICP, iSam, 3D-Ransac) byly na platformě PC implementovány algoritmy pro registraci dat ze snímače.



Samotná registrace byla náročná na programovou implementaci. Přestože existuje v literatuře velký počet různých přístupů pro registraci a korespondenci dat ze snímačů podobného typu

(časové nároky na studium), jsou tyto zpravidla použitelné jen ve velmi specifických úlohách s konkrétními parametry a často jsou navrhovány vlastní metody.



Při realizaci úlohy byl implementován jednak komunikační protokol pro sběr dat z laserového snímače (C#) a jednak metody pro samotné zpracování dat (např. ICP metoda s optimalizací K-d stromy nebo knihovna Math.Net pro polární dekompozici matice). V rámci testování snímače bylo navrženo několik experimentů zahrnujících jak pohyb modelu vozidla (vozička) v rámci interiéru (dynamické testy) tak závislost přesnosti snímání na materiálu okolí a jeho vzdálenosti (statické testy).

2b Dílčí cíle

Verifikace a určení vnitřní logické konzistence navržených metod zpracování obrazu

Cíl je určen úspěšným nasazením navrženého HW a následně implementovaného SW. Z hlediska technické verifikace parametrů u navrženého hardware byly tyto testovány laboratorními zátěžovými zkouškami odpovídajícími standardu 10Gbit Ethernet (konvertor HD SDI viz výstupy) popř. měřením přesnosti latence a skluzu jitteru (jednotka přenosu dat). Analogicky byla ověřena správnost implementace metod zpracování obrazu přímým použitím na několik úloh jak průmyslové inspekce (materiálová segregace, profil jeřábových kol, profil automobilových reflektorů) tak úloh dopravních (autonomní navigace vozidla, asistenční systém řidiče). Některé úlohy byly z pohledu verifikace tzv. ostré, tedy byly realizovány ve spolupráci s komerčním subjektem, jiné měly spíše teoretický cíl např. návrh metody pro registraci velkého objemu dat z laserového snímače SICK pro mapování okolí vozidla. Na této „bezpečné“ úloze byla znovu potvrzena nutnost HW zpracování obrazových dat bez ohledu na typ snímače.

2c Dílčí výstupy

Hardware a knihovna pro zpracování obrazových dat

Pro realizaci průmyslových a dopravních úloh počítačového vidění byl ve shodě s projektovou přihláškou navržen jak specializovaný hardware pro pořízení a zpracování vysokého objemu dat tak softwarová knihovna (ImProc).

Zejména v případě průmyslových úloh je často zapotřebí kontinuálně a přitom souběžně sbírat data buďto z homogenní skupiny zařízení (v nejjednodušším případě stejný typ kamery se shodným rozhraním) nebo dokonce z různých typů snímačů. V případě dopravních úloh byl řešen problém fúze dat z kamerových snímačů typu VIS, IR a laserového snímače SICK. Tato část vývoje navazuje na dlouhodobé znalosti v oblasti zpracování a přenosu dat strukturami hradlových polí. Jedná se o problematiku zpracování a přenosu velkého objemu dat v oblasti koncentrace obrazových informací ze zdrojů signálů typu HD-SDI a 3G-SDI a jejich transformaci do 10 Gb Ethernetu realizovaného po optickém vlákně. Byl navržen specializovaný HW pro sběr obrazových dat až z šesti HD SDI kamer, jejich konverzi do proprietárního protokolu a přenos přes standardní 10G Ethernet rozhraní. Vývoj jednotky přenosu dat s nízkým jitterem na bázi

FPGA řady Spartan 6 byl nutný z pohledu rychlého a bezpečného přenosu vysokého objemu dat (přenos optickým vláknem rychlostí 3.2 Gbps).

Následuje jmenný seznam výstupů pracovního balíčku ve sledovaném období (bližší popis ve vlastním dokumentu výstupů):

- 01 - Konvertor HD SDI - 10G bit Ethernet, GB010.
- 02 - Jednotka pro přenos dat s velmi nízkým jitterem, A020.
- 03 - Knihovna pořízení a zpracování obrazu ImProc.
- 04 - Publikace Detection of Symmetric Features in Images.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Takové výsledky nebyly plánovány.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V aktuálním kalendářním roce se předpokládá pokračování řešení pracovního balíčku podle projektové žádosti. Nejsou známy žádné objektivní překážky k tomu, aby všechny činnosti byly splněné, protože jak personální tak i organizační a materiální složky jsou zajištěny.

V následujícím období se konkrétně budou implementovat popř. re-implementovat (inovovat) metody zpracování obrazu pro analýzu stavu řidiče za jízdy a dále vyvíjet a zejména realizovat úlohy průmyslové inspekce (měření tvaru, rozměru apod.). Jak dopravní tak inspekční úlohy budou opět řešeny z pohledu hardwarového zpracování na bázi FPGA/DSP implementace a z pohledu algoritmického řešení zpracování obrazu a klasifikace objektů.

Pracovní balíček 9

Expertní systém pro projektování RFID aplikací

1 Popis činností

Během roku byly prováděny tyto činnosti:

Původní harmonogram

Prototyp inteligentní databáze pro návrh řešení aplikace s prvky systému RFID, RFID Expert

12/2012 03/2013

Plně funkční verze systému RFID Expert

03/2013 12/2013

Testování plně funkční verze RFID Expert a její odlad'ování na základě konzultace s partnerem Gaben

05/2013 12/2013

U spoluřešitele VŠB-TUO byly v rámci těchto činností řešeny následující konkrétní úkoly:

- Implementace struktury a plnění primárními daty, testování této databáze pod zátěží (stress test)
- Implementace dalších dat o RFID zařízeních a referenčních řešeních firmou Gaben
- Tvorba uživatelského rozhraní systému rfidexpert, studium aktuálně používaných způsobů inteligentního vyhledávání (metasearch enginy založeny na neuronových sítích)
- Řešení průběžně se objevivších úloh souvisejících s tématem RFID
- Studium materiálů popisujících parametry existujících RFID tagů a snímačů zejména se zřetelem k návrhu struktury databáze RFID
- Tvorba úvodního studijního textu o systémech automatické identifikace zejména s RFID
- Dokončení administrativního rozhraní aplikace RFIDexpert.
- Kompletní doplnění databáze RFID inlay a čipů.
- Implementace moderních mentálních vyhledávacích modelů.

U spoluřešitele GABEN byly v rámci těchto činností řešeny následující konkrétní úkoly:

- Korespondenční jednání s výrobcí RFID tagů
- Osobní jednání s výrobcí RFID tagů a implementátory na konferenci RFID JOURNAL
- Implementace poznatků do struktury inteligentní databáze a vyhledávacích algoritmů
- Vývoj rozhraní pro update RFID databáze na základě dat od výrobců RFID komponent
- Příprava a realizace dotazníkového šetření u koncových uživatelů RFID v rámci MSV 2013
- Příprava a realizace CONJOINT analýzy vlastností RFID tagů mezi odbornou a laickou veřejností
- Vývoj konfigurátoru SMARTLABEL jako navazující krok po využití inteligentní databáze
- Analýza a vývoj vlastního OPEN SOURCE protokolu RTLS tagů v pásmu 801.11n
- Analýza možností připojení externích senzorů k pasivním RFID tagům a testování dostupných RFID tagů s externími čidly
- Analýza možností napájení pasivních RFID tagů parazitním RF signálem a vývoj funkčního vzorku RFID tagu s napájením v pásmu 802.11n
- Analýza a spolupráce na úpravách norem standardu EPC GLOBAL s organizací GS1 pro potřeby inteligentní databáze a expertního systému
- Analýza a spolupráce na přípravě norem VDO ve spolupráci s koncernem VW pro potřeby inteligentní databáze a expertního systému.
- Doplnění testovacích procedur o aktuální vlastnosti NFC tagů
- Vývoj ROI analýzy použitých komponent RFID řešení

S ohledem na zájem konkrétního uživatele o konkrétní použití RFID technologie byly oběma spolupříjemci zahájeny přípravné práce na realizaci reprezentativní aplikace v oblasti zdravotnictví. Jejich výsledek bude zúročen v druhé etapě řešení projektu (balíček 20). Protože téma přesně zapadá do oblasti řešení projektu, byl návaznosti na to tým posílen i dalšími studenty doktorského a inženýrského studia, kteří pracovali na těchto problémech:

- Instalace a konfigurace lokalizačního řešení (RTLS) pomocí technologie RFID do testovací laboratoře VŠB-TUO a reálných prostor urgentního příjmu Fakultní nemocnice Ostrava.
- Implementace vlastního řešení softwarové aplikace pro vizualizaci RFID tagů lokalizačního systému (RTLS) v rámci traumacentra Fakultní nemocnice Ostrava. Tento software umožňuje zobrazovat pozici lokalizovaného RFID tagu, zobrazovat pomocí připojeného systému Kerberos vitální informace pacienta a následně také vytvářet statistiky o době setrvání a pohybu pacienta na oddělení Fakultní nemocnice Ostrava.
- Testování specifických vlastností systému lokalizace, založeném na použití komunikace RFID pomocí technologie WiFi v prostorách VŠB
- Řešení problematiky součinnosti automatické identifikace systému využívajících komponenty RFID a systému monitorování životních funkcí realizovaných v systému Kerberos
- Implementace databáze komponent RFID technologie a aplikací této technologie
- Tvorba komunikačního rozhraní mezi aplikací pro vizualizaci dat lokalizačního systému a vytvořenou databází
- Práce na systému pro evidenci lékařského materiálu pomocí technologie RFID, Barcode, QR Code. (Tvorba aplikace pro mobilní telefony s OS android, návrh databáze pro evidenci materiálu a internetový portál pro správu databáze)

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Milník 1: Inteligentní databáze RFID a RTLS tagů

Tento milník byl dosažen se všemi dílčími cíli s výjimkou relevantních výsledků při testování odezvy databázového serveru (stress test). Momentální testy probíhaly na malém vzorku dat v databázi (několik set záznamů) a tudíž nelze zatím výsledky považovat za definitivně validní. Tento test bude proveden znovu v průběhu a posléze i po dosažení 2. Milníku a dokončení aplikace RFIDexpert, kdy větší vzorek dat bude podávat relevantnější informace.

Součástí tohoto milníku, bylo také vyhodnocení dotazníků, které byly rozeslány několika skupinám potencionálních zákazníků z oblasti průmyslu a obchodu. Tomu předcházelo dotazníkové šetření o používání RFID technologie u odborné veřejnosti na MSV 2013, provedené u dvou stovek vystavovatelů. Na základě dotazníkového šetření byly provedeny následující úpravy aplikace RFIDexpert:

- Byly přeformulovány dotazy při výběru optimálního RFID řešení v aplikaci RFIDexpert.
- Byl upraven grafický vzhled aplikace RFIDexpert pro zvýšení přehlednosti a srozumitelnosti.

Dotazníkové šetření ukázalo výrazný rozdíl mezi respondenty, kteří technicky rozumí podstatě RFID technologie a laickou veřejností, která je seznámena pouze s medializovanými výstupy o této technologii. Tato skupina potencionálních uživatelů není bez předchozí edukativní činnosti schopna relevantně používat vyhledávací algoritmy inteligentní databáze. Proto byl projekt

doplňen o CONJOINT analýzu vlastností RFID tagů, která výzkumnému týmu pomůže v dalších etapách rozvoje vyhledávacích algoritmů.

Tato část má přímou návaznost na aktuální vývoj v oblasti RFID, kde je v popředí oblast tagů v pásmu 13,56MHz, komerčně známá spíše pod zkratkou NFC. Ještě před 2 lety se toto pásmo zdálo jako slepá ulička, která bude plně nahrazena tagy s delší čtecí vzdáleností v pásmu UHF. Všechny nové NFC tagy bylo možno bez jakékoliv změny strukturu doplnit do stávající databáze RFIDExpert. To ukazuje na vhodně zvolenou koncepci a řešení.

Databáze obsahuje aktuálně přes 200 základních typů pasivních RFID INLAY, které zahrnují 100% portfolia sledovaných výrobců RFID Inlay z EU a USA. Do 31.12.2013 zatím nebyl dostupný žádný komerčně dostupný pasivní RTLS tag, první výrobky budou dostupné ve druhé polovině 2014.

2b Dílčí cíle

Inteligentní databáze RFID a RTLS tagů – prototyp

Dílčí cíl byl dosažen. V tomto dílčím cíli byla vytvořena, testována a optimalizována databáze RFID a RTLS tagů. Optimalizace byla provedena na základě stress testu a unit testingu provedeného pomocí balíku MyTAP. Nad touto databází bylo vytvořeno uživatelské a administrátorské rozhraní, které je dostupné na adrese <http://rfidexpert.vsb.cz>. Toto uživatelské rozhraní je vytvořeno v programovacích jazycích PHP, JavaScript a HTML, pomocí frameworku Nette, knihovny jQuery a jejich odnoží a CMS Joomla. Celá tato aplikace včetně databázového systému je provozována na serveru s OS Linux (Ubuntu server 12.04LTS).

Inteligentní databáze RFID a RTLS tagů

Dílčí cíl byl dosažen. Charakteristika tohoto dílčího cíle je popsána shora v odstavci 2a - Milník1, s jehož věcnou charakteristikou se shoduje.

2c Dílčí výstupy

Byly dosaženy plánované dílčí výstupy:

TE01020197DV001 Prototyp Inteligentní databáze RFID a RTLS tagů

Výsledkem toho dílčího výstupu je první verze systému Inteligentní databáze RFID a RTLS tagů připravená pro sběr základního souboru dat a uzavřené beta testování.

Dílčí výstup byl dosažen v plánovaném termínu 03/2013

TE01020197DV002 Srovnávací databáze RFID a RTLS tagů

Tento dílčí výstup je zároveň plánovaným registrovaným výsledkem E01020197V001 a charakterizuje první milník pracovního balíčku. Výstupem je srovnávací databáze RFID a RTLS tagů pořízená na základě informací z katalogů výrobců. Plánovaný typ odpovídajícího výstupu a zároveň výsledku, je registrován jako výsledek typu Z a R dle metodiky hodnocení VaV.

2d Výsledky dle kategorie RIV

TE01020197V001 - Srovnávací databáze RFID a RTLS tagů (9)

Současný obsah databáze byl pořízen na základě informací z katalogů výrobců. Tímto krokem byla zpřístupněna pro veřejnost databáze RFID a RTLS a bylo zahájeno testování databáze a také uživatelského rozhraní zpřístupňujícího přístup do databáze. Pro vytvoření zpětné vazby od uživatelů aplikace byl vytvořen dotazník, který byl a bude i v dalším průběhu řešení po použití aplikace uživateli vyplňován. Dotazník tvoří otázky z oblasti použitelnosti, přívětivosti a rychlosti použití aplikace. Vyhodnocením dotazníku a sledovaných parametrů při transakcích bude vytvořena další optimalizace aplikace. Paralelně s dotazníkem probíhá CONJOINT analýza vlastností RFID tagů mezi dvěma základními skupinami uživatelů (odborná a laická veřejnost), aby bylo možné lépe formulovat postupy vysvětlující jednotlivé kroky výběru.

Tento výsledek je evidován jako výsledek typu R pod evidenčním číslem: 060/20-12-2013_SW a také jako výsledek typu Z pod evidenčním číslem: 009/20-12-2013_PO.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Souhrn a výhled

Práce probíhají v souladu s plánovaným harmonogramem, oproti předpokladům nebyly výsledky testování databáze na rychlost a stabilitu vzaty jako validní z důvodu malé skupiny testovaných dat (cca 200 záznamů neposkytuje relevantní výsledky). Tyto testy budou nadále pokračovat převážně v následujícím období a po ukončení druhého milníku.

Dosavadní přínosy

Přínosy inteligentní databáze byly potvrzeny reálným průzkumem mezi několika stovkami potencionálních uživatelů. Přibližně 66 % dotázaných sice ví, co zkratka RFID znamená, ale většina z nich nedokáže přesně vyjmenovat výhody technologie. Zde je přínos inteligentní databáze s edukativně pojatými výběrovými kritérii a komentářem opravdu výrazný.

Stejně tak je potvrzený přínos pro výrobce RFID INLAY, jejichž výrobky je možné spojit se skutečně realizovanými řešeními a tato potom replikovat u dalších uživatelů. Jako nejvhodnější uživatel byla v této fázi projektu vybrána firma RFIDTAG, která je největším tuzemským výrobcem RFID tagů, exportující do mnoha zemí EU i mimo ni.

Přímo pro společnost GABEN je přínosem dostupnost kompletního portfolio informací o aktuálně dostupných polotovarech. To umožňuje lépe reagovat na poptávku zákazníků a pozitivně se projevuje v tržbách.

Rizika

Hlavním rizikem stále zůstává překotný vývoj nových vlastností RFID tagů, zejména vytvoření nových standardů a norem (např. normalizovaná struktura paměti a RFID tagy s externími čidly), které by mohly narušit koncepci řešení. Toto riziko musí být minimalizováno intenzivnější spoluprací s organizacemi vytvářejícími standardy (GS1 apod.) Dalším možným rizikem je velmi nízká odborná úroveň uživatelů řešení, kteří nechápou základní terminologii a fyzikální podstatu bezdrátové identifikace. Toto riziko musí být minimalizováno rozšířeným testováním skutečnými uživateli a případně vytvořením dvou verzí vyhledávacích algoritmů podle odborné úrovně uživatele.

Nové skutečnosti

Interaktivní průvodce RFID etiketou je nově vzniklým samostatným podprojektem, který umožní uživatelům autonomně navrhnout nejvhodnější finální produkt – etiketu s RFID tagem. Aplikace na základě požadovaných rozměrů a použitých tiskáren navrhnout nejlepší tvar etikety a způsob vložení RFID tagu. Tento modul doplní samotnou databázi a slouží k vyššímu komfortu uživatelů a komercializaci výsledků projektu.

Matematický model vyzařovací charakteristiky RFID tagu je nově vzniklým samostatným podprojektem, který umožní matematicky popsat grafické znázornění vyzařovacích charakteristik antén tagů. Model je vyvíjen v rámci evropské sítě laboratoří GS1 EPC LAB a bude součástí pozdějších verzí expertního systému.

Pro potřeby expertního systému je vyvíjena ROI analýza, která vychází z komplexních podkladů sdružení GS1. Tato analýza je upravována pro použití v expertním systému, aby poskytla uživateli alespoň základní ekonomickou rozvahu vybraného řešení.

Do prostor urgentního příjmu Fakultní nemocnice Ostrava byl instalován experimentální systém pro lokalizaci (RTLS) pomocí WiFi a RFID tagů. Tento systém slouží k provedení a dalšímu ověření přípravných kroků k realizaci dalšího pracovního balíčku (20) centra kompetence. Zároveň reaguje na situaci rozšiřování RFID technologií do nemocničního prostředí v zahraničí, převážně pak také v dalších členských zemích EU¹, kde má ČR „kolosální“ zpoždění hlavně z důvodu neexistující legislativy. Na území České republiky se jedná o pilotní projekt zavádění systému podobného typu do urgentního příjmu zdravotnického zařízení, které představuje kritické místo v případech řešení krizových zdravotnických situací. Aplikace RFID technologií v nemocničním prostředí se na území České republiky soustředí spíše do jednotlivých pilotních projektů i přesto, že v jiných zemích evropské unie jsou tyto technologie a jejich aplikace uzákoněny a jejich používání v tomto prostředí je naprosto běžné.

Instalace tohoto systému bude ovšem použita i ve fázi řešení prvního pracovního balíčku (9) je a to především k ověření katalogových vlastností RFID tagů, které jsou publikovány v komparativní databázi RFIDexpert.

Vlastní softwarová aplikace pro lokalizaci (RTLS) pomocí WiFi a RFID tagů, která byla instalována do prostor urgentního příjmu Fakultní nemocnice Ostrava, bude podporovat vizualizaci i vitálních informací o stavu pacienta pomocí systému Kerberos. Aplikace zajišťuje vytváření statistik o pohybu a provádění jednotlivých diagnostických a terapeutických výkonů s pacientem v prostorách urgentního příjmu a v důsledku toho i statistiky o výkonu personálu urgentního příjmu.

¹ <http://www.rfidineurope.eu/>

Pracovní balíček 10

Nástroje pro optimalizaci výrobních a lidských zdrojů

V rámci pracovního balíčku probíhá současně výzkum ve dvou příbuzných oblastech – řízení a optimalizace výroby a rozvrhování lidských zdrojů. V obou částech navazovaly činnosti v letošním roce na výzkum realizovaný v předchozím roce. Pro rok 2013 byl stanoven cíl v podobě software uvedeného v systému RIV.

1 Popis činností

Tvorba GUI pro rozvrhování směn zaměstnanců

Dle plánu byly započaty práce na vývoji nového grafického rozhraní pro nástroj na rozvrhování směn zaměstnanců. Vývoj je směřován tak, aby aplikace byla použitelná nejen na osobních počítačích, ale rovněž na přenosných zařízeních jako jsou tablety, mobilní telefony a podobně.

Tvorba komponent pro řízení výroby na úrovni strojů

Došlo k dokončení a reálnému nasazení komponent přímo na plnicí lince společnosti Procter & Gamble Rakona, čímž byly úspěšně uzavřeny pracovní činnosti v oblasti řízení výroby na úrovni strojů.

Nejprve byla věnována pozornost testování a analýze akumulačního systému pro plnicí linku ve společnosti Procter&Gamble Rakona. Tento systém je realizován pomocí algoritmů nahraných do PLC jednotek, které slouží k řízení celé linky na úrovni strojů. Akumulační systém byl v společnosti Procter&Gamble nasazen koncem roku 2012 a v letošním roce probíhalo především doladění některých parametrů, jako jsou časové konstanty senzorů. Výsledkem realizovaného řešení bylo snížení počtu neplánovaných zastavení linky a tím zvýšení její propustnosti o jednotky procent. Technická dokumentace je uvedena níže [1].

Společně s testováním akumulačního systému pokračoval sběr a analýza dat a na jejich základě byla provedena parametrizace celé linky, což zahrnuje kadence jednotlivých strojů a dopravníků střední doby poruch, propagaci chyb skrz linku a podobně. Tato parametrizace byla posléze využita pro vytvoření počítačového modelu linky jako systému diskrétních událostí. Na základě vytvořeného modelu jsme dále implementovali nástroj na simulaci celé linky s velmi jemnou časovou granularitou a zohledněním všech získaných parametrů. Součástí simulačního nástroje je i možnost definovat časy poruch jednotlivých zařízení jak manuálně, tak pomocí parametrů náhodných rozdělení.

Vstupem celého simulátoru je popis linky v předem specifikovaném formátu společně s parametry simulace. Formát dat je navržen tak, aby dovozoval vysokou flexibilitu pro definici linky, což spočívá především v možnosti definovat libovolnou logickou formuli pro přechod mezi dvěma stavy stavového automatu. Bez nutnosti měnit kód celé aplikace je tak možné přizpůsobit model linky specifikům jednotlivým zařízením, včetně přímé definice zařízení nových. Parametry simulace jako takové jsou zaprvé simulační horizont a zadruhé vzorkovací perioda, uváděná v milisekundách. Kratší vzorkovací perioda znamená na jedné straně vyšší přesnost simulace, na druhé straně však samozřejmě navyšuje i výpočetní náročnost.

Očekávaným přínosem simulátoru je další zvýšení efektivity celé výrobní linky na základě úpravy nastavení kadencí jednotlivých zařízení. Testování podobných nastavení přímo na „živé“ lince je z pohledu plynulosti výroby nemožné a navíc by bylo i neúnosně náročné časově. Prvním výstupem využití počítačových simulací by tak mělo být optimální nastavení jednotlivých zařízení s ohledem na jejich poruchovost. V dlouhodobém výhledu pak simulace pomohou pro vyhodnocení přínosu nákupu nových zařízení a nasazení nových technologií.

Během roku 2013 byla navržena architektura celé aplikace, s ohledem na její pozdější škálovatelnost, a dále jsme implementovali všechny části systému, které byly potřeba pro jeho testování v součinnosti s pracovníky firmy Procter&Gamble. Velká část práce byla věnována postupným úpravám modelu a jeho přibližování funkci skutečné linky se všemi jejími specifiky. Současně s úpravami modelu jsme pracovali na optimalizaci jádra simulátoru z funkčního pohledu tak, aby bylo možné v dostatečné jemnosti simulovat linku v horizontu jednotek dní. V současné době jsou výstupy simulací vyhodnocovány především na straně firmy Procter&Gamble. Souběžně probíhá další optimalizace jádra simulátoru a tvorba grafického výstupu tak, aby byl co nejbližší systému Maple, který je aktuálně používán v Procter&Gamble.

Návrh algoritmů pro rozvrhování výroby

V návaznosti na dokončení řízení výroby na úrovni strojů jsme začali s návrhem optimalizačních algoritmů pro rozvrhování výroby na úrovni zakázek. Algoritmy budou tvořit knihovnu, kterou bude možno využívat jako přídatný modul.

Implementace algoritmů pro přiřazování směn zaměstnancům

V roce 2013 byla dokončena implementace optimalizačních algoritmů pro přiřazování směn zaměstnancům. Všechny algoritmy jsou součástí jedné knihovny, kterou využívá nástroj dostupný v současné době přes jednoduché webové rozhraní.

V této oblasti se práce soustředily především na vývoj systému pro rozvrhování lidských zdrojů, který je koncipován jako nástroj přístupný přes web. Po nahrání instance řešeného problému z oblasti rozvrhování lidských zdrojů na server je využita knihovna algoritmů pro vyřešení dané instance a následně je výsledek vrácen na stranu klienta. V budoucnu bude systém rozšířen o GUI, kde bude možné měnit vstup problému, provádět ruční zásahy v rozvrhu, zobrazovat výsledek automatického návrhu, atd. Práce na tomto grafickém rozhraní byla dle plánu započata již v roce 2013.

Řešené problémy jsou dekomponovány na více podproblémů, a to takovým způsobem, že se nejdříve určí, které dny daní zaměstnanci budou mít přiřazenou směnu a naopak. V následujícím kroku je kombinací optimálních a exaktních algoritmů stanoven počáteční rozvrh a ten je v další fázi iterativně vylepšován. K této optimalizaci slouží hyperheuristika, jejíž specifika jsou popsána v následujícím odstavci.

Knihovnu algoritmů zaštiťuje hyperheuristický algoritmus, který během optimalizace rozvrhů rozhoduje, který z algoritmů z knihovny má být použit během řešení problému z této oblasti. Toto rozhodnutí se provádí na základě úspěšnosti jednotlivých algoritmů při řešení daného problému, tzn., pokud se právě zvolenému algoritmu přestává dařit, tak je zvolen jiný algoritmus z knihovny a tím se eliminuje riziko uváznutí v lokálním extrému během řešení dané instance problému. Knihovna algoritmů je tvořena algoritmy exaktními (optimálními) a dále heuristikami, které jsou vhodně pro větší instance problémů.

Dle plánu na rok 2013 byly výsledky prezentovány na mezinárodní konferenci „14th Workshop of the EURO Working Group EU/ME: the metaheuristics community“ v Hamburku [2]. Konkrétně šlo o prezentaci výsledků dosažených v oblasti využití neuronových sítí pro rychlé ohodnocení změn v rozvrhu směn zaměstnanců. Tento přístup umožňuje efektivnější využití (meta-) heuristických přístupů jako jsou například evoluční algoritmy. Popisy dalších algoritmů, které jsou součástí celé knihovny, jsou shrnuty v technických přílohách [3] a [4].

Knihovna algoritmů pro tvorbu rozvrhů směn byla navržena v první fázi v prostředí Matlab, ve finální fázi v programovacím jazyku C#. Kvalita řešených rozvrhů byla testována na standardních testovacích instancích dostupných na <http://www.cs.nott.ac.uk/~tec/NRP/> a dále na instancích ze soutěže INRC pořádané v roce 2010 (<http://www.kuleuven-kulak.be/nrpcompetition>). Knihovna

algoritmů je dostupná přes jednoduché webové rozhraní, které reprezentuje jeden ze dvou stanovených výsledků projektu pro rok 2013 (viz [5]).

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Na letošní rok byl stanoven jeden milník, sestávající ze dvou částí:

- *Dokončení komponent pro řízení výroby na úrovni strojů* – splněno nasazením řešení ve společnosti Procter&Gamble.
- *Dokončení nástroje na rozvrhování lidských zdrojů* – splněno vytvořením specifikovaného nástroje a rozsáhlým testováním na standardních testovacích instancích.

2b Dílčí cíle

Na letošní rok byly stanoveny dva dílčí cíle

- *Vytvořit knihovnu komponent pro řízení výroby* – splněno vytvořením knihovny algoritmů pro PLC jednotky a simulačního nástroje testovaného firmou Procter&Gamble.
- *Vytvořit knihovnu algoritmů pro rozvrhování lidských zdrojů* – splněno, knihovna obsahuje sadu algoritmů, které řeší původní problém dekompozicí a navíc je zde využívána hyperheuristika, která rozhoduje o tom, který z algoritmů z knihovny je během řešení instance problému nejvhodnější.

2c Dílčí výstupy

V letošním roce mělo být dosaženo dvou dílčích výstupů:

- *Knihovna komponent pro řízení výroby* – dílčího cíle bylo dosaženo dle požadavků (viz výše – dílčí cíle), včetně nasazení a testování na reálné výrobní lince.
- *Knihovna algoritmů pro rozvrhování lidských zdrojů* – dílčího cíle bylo dosaženo dle požadavků (viz výše – dílčí cíle).

2d Výsledky dle kategorie RIV

Na letošní rok byly stanoveny v rámci pracovního balíčku dva výsledky dle kategorie RIV

- *konferenční příspěvek o rozvrhování zaměstnanců (kategorie X – jiné)* – výsledku bylo dosaženo (viz [2]).
- *Systém pro přiřazování směn zaměstnancům (kategorie R – software)* – výsledku bylo dosaženo (viz [5]).

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Na základě faktů uvedených v předchozím textu lze konstatovat, že v rámci pracovního balíčku nedošlo k žádným neočekávaným prodlevám či neplnění stanoveného plánu. Všechny milníky, dílčí cíle i výstupy bylo dosaženo. Činnosti plánované na letošní rok probíhaly v souladu s návrhem projektu.

I v příštím roce očekáváme řešení balíčku v souladu se stanoveným plánem, pracovní činnosti budou navazovat na dosud dosažené výsledky. To konkrétně obnáší druhou verzi nástroje pro řízení a optimalizaci výrobního procesu, především na vyšší úrovni řízení a plánování výroby. Souběžně bude dále rozvíjen vytvořený nástroj pro přidělování směn zaměstnancům s důrazem na tvorbu grafického rozhraní a zadávání nových typů požadavků.

Žádná nová rizika oproti výchozí situaci při podání projektu nebyla identifikována.

- [1] R. Čapek, Z. Kopřiva, Z. Hanzálek: Řízení akumulčního a dopravního systému balící linky. Technická zpráva ČVUT, Praha 2013.
- [2] R. Václavík, P. Šůcha, Z. Hanzálek: *A Low Time-Consuming Rosters Evaluation in Personnel Scheduling Problems Based on Pattern Learning*. Proceedings of the 14th EU/ME workshop, Hamburg, 2013, str. 38-43.
- [3] J. Smejkal: Problém rozvrhování lidských zdrojů. Technická zpráva ČVUT, Praha 2013.
- [4] J. Dvořák: Implementace NRRP na GPU. Technická zpráva ČVUT, Praha 2013.
- [5] Z. Bäuml, P. Šůcha, Z. Hanzálek: *Systém pro přiřazování směn zaměstnancům*. Autorizovaný software (ASW), ČVUT Praha, 2013.

Pracovní balíček 11

Softwarové moduly pro monitorování a řízení s využitím modelů průmyslových procesů

1 Popis činností

Implementace softwarových rutin pro systémy monitorování a řízení

V jednotlivých aplikačních oblastech byly implementovány následující SW rutiny/sub-moduly:

AO1: V návaznosti na výsledky výzkumu a vývoje v oblasti modelování termodynamických jevů v procesech chladnutí ocelových pásů a plechů, byly v programovacím jazyku C#/C++ implementovány SW aplikace pro:

- modelování chladnutí ocelových plechů a pásů, včetně uživatelského rozhraní
- přepočet délky za tepla na délku za studena s vyhodnocením relativní chyby, včetně uživatelského rozhraní

AO2: V návaznosti na výsledky výzkumu a vývoje v procesech válcování, byla v programovacím jazyku C# implementována SW aplikace pro parametrizaci válcovací tratě, a to včetně uživatelského rozhraní

AO3: S využitím řady původních výsledků VV dosažených v návrhu postupů modelování a řízení systémů s dopravním zpožděním a distribuovanými parametry, byla vytvořena knihovna softwarových rutin pro první (PLC) vrstvu řídicích systémů, zahrnující implementace maticových operací, metody numerického řešení dynamických modelů, či aplikace řady prostředků pro řízení a monitorování průmyslových procesů.

AO4: Jako nový prvek portfolia pecních modelů firmy PIKE vznikl modul pro výpočet tzv. viewing faktorů využívající metodu Monte Carlo.

Návrh řídicích, výpočetních a optimalizačních algoritmů pro systémy řízení a monitorování

V návaznosti na činnosti v prvním roce řešení, probíhaly v jednotlivých aplikačních oblastech následující aktivity

AO1: Byly dopracovány modely chladnutí ocelových pásů a plechů pro estimaci a optimalizaci doby chladnutí. Dále byla dopracována metodika pro odhad délky vývalků za studena při znalosti jejich délky za tepla a to včetně vyhodnocení chyby vypočtené délky při znalosti relativních chyb měření teploty, délky a neurčitosti koeficientu teplotní roztažnosti pro různé typy materiálu a to včetně uvažování rekrytalizačních jevů.

AO2: V oblasti monitorování a řízení procesů válcování byly aplikovány pružnostně-pevnostní modely s cílem dosažení požadované plasticity materiálu vedoucí ve výsledku ke zvýšení rovinnosti plechů při těchto procesech. Byl vyvinut jednokrokový model predikce teplot materiálu při průchodu jednotlivými válcovacími stolicemi. Dále byly aplikovány algoritmy pro estimaci rychlosti deformace lineárním regresním modelem, algoritmy pro výpočet přetvárného odporu a výsledný výpočet válcovacích sil na jednotlivých stolicích.

AO3: Pokračovaly činnosti zahrnující návrh a aplikace regulátorů, estimátorů a filtrů na bázi systémů s dopravním zpožděním. Zejména byla provedena algoritmizace vybraných regulačních algoritmů (PID se dvěma stupni volnosti, Smithův prediktor, regulátor na bázi inverze dynamiky). Aplikovaný výzkum zahrnoval řešení problematiky antiwind-upu regulátorů s dopravním zpožděním [1], identifikaci parametrů systému se zpožděním [2]. Též byly prezentovány výsledky

v oblasti tvarovačů signálů dosažené v prvním roce řešení [3]. Výzkum pokračoval též v oblasti využití dimenzionální analýzy v parametrizaci regulátorů, s publikačními výstupy [4, 5].

AO4: Výzkum a vývoj pokračoval zejména v oblasti optimalizace řízení plynových průběžných pecí pro ohřev oceli před válcováním, který navazuje na ukončený projekt programu TIP. Pro zpřesnění řešení sálavého přenosu tepla byla s využitím metody Monte Carlo provedena úprava výpočtů matice tzv. viewing faktorů, která byla následně aplikována pro zefektivnění výpočtu energetického toku do ohřívajícího materiálu. Dále byly zkoumány a implementovány metody modelování a řízení, které nebyly uvažovány v ukončeném projektu TIP, např. zónový model s využitím Galerkinovy metody a nové metody optimalizace ohřevové křivky. Pozornost byla též věnována problematice růstu okují při průchodu materiálu průběžnou pecí.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Návrh a implementace softwarových rutin pro výpočetní a optimalizační operace pro systémy monitorování a řízení

V souladu s aktuálními potřebami, technologickou úrovní a moderními trendy v oblastech průmyslové automatizace hutního průmyslu byly na základě studie proveditelnosti stanoveny následující aplikační oblasti (AO) výzkumu a vývoje:

- AO1) Návrh a realizace SW pro monitorování a řízení procesů chlazení ocelových plechů a pásů
- AO2) Návrh a realizace SW pro subsystemy monitorování a automatického řízení válcovacích procesů
- AO3) Aplikace moderních algoritmů řízení pro systémy s dopravním zpožděním a systémy s rozloženými parametry
- AO4) Návrh a realizace SW pro subsystemy monitorování a řízení energeticky náročných procesů

V součinnosti obou zúčastněných partnerů pracovního balíčku bylo v jednotlivých AO dosaženo řady původních výsledků s významným aplikačním potenciálem a to zejména v oblastech válcování a procesů sdílení tepla v hutním průmyslu. Jednotlivé problémy aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje zahrnovaly komplexní řešení od rozboru existujících analogických problémů, návrhu nových, či analýzy existujících matematických modelů, jejich numerické interpretace až po následnou aplikaci do podoby funkčního SW, který je výsledkem prvních dvou let řešení projektu jako *Knihovna softwarových rutin pro výpočetní a optimalizační operace pro systémy monitorování a řízení*. Kromě plánované tvorby SW rutin, si řešení projektu vyžádalo též implementaci ucelených SW sub-modulů, které jsou také zahrnuty do zmiňované knihovny. V oblasti aplikovaného výzkumu byla též řešena problematika parametrizace regulátorů průmyslových procesů s rozloženými parametry a návrh a implementace tvarovačů signálu pro systémy tlumení vibrací. V průběhu řešení této části projektu bylo dosaženo stanovených činností, cílů, výstupů a výsledků. Daný milník byl tedy úspěšně dosažen.

2b Dílčí cíle

Kompletace knihovny softwarových rutin pro výpočetní a optimalizační operace v systémech monitorování a řízení

V rámci plnění daného cíle byla navržena a implementována knihovna rutin pro optimalizaci a řízení energeticky a materiálově náročných procesů. Tato knihovna obsahuje algoritmy moderních typů regulátorů pro nasazení na různých úrovních průmyslového řídicího systému. Pro úroveň PLC byly navrženy a implementovány moderní modifikace zpětnovazebního PID

regulátoru s více stupni volnosti a byly navrženy původní metody pro jeho parametrizaci a to v aplikaci jak klasické regulační smyčky, tak i smyčky ve Smithově zapojení. Dále byl navržen a implementován regulátor založený na principu vnitřního modelu, či různé typy tvarovačů signálů. Rutiny a sub-moduly pro vyšší vrstvu řídicího systému zahrnují funkcionality pro složitější algoritmy řízení využívající moderní metody teorie řízení a monitorování. Vzhledem k aktuálním potřebám průmyslového partnera v rámci balíčku byly aktivity zaměřeny zejména na estimaci a parametrizaci procesů chladnutí, válcování a pecních technologií. Aplikačně výzkumná činnost spočívala v dopracování teoreticky navržených a ověřených algoritmů matematického modelování, řízení a identifikace parametrů do implementační platformy vhodné pro nasazení v průmyslových aplikacích, viz publikace [1-5]. Softwarová implementace algoritmů byla provedena s využitím programovacího jazyku C#/C++ na uživatelské platformě Microsoft Windows (MS VisualStudio) a programovacích nástrojů pro PLC. Jednotlivé algoritmy byly nejprve testovány simulačně, s využitím výpočetního software Matlab Simulink. K před-provozním testům byly využity záznamy měření z průmyslových procesů firmy PIKE Automation.

Výstupem daného cíle je dílčí výstup - 'Knihovna softwarových rutin pro výpočetní a optimalizační operace v systémech monitorování a řízení', který je dále implementován jako výsledek projektu [R-software]. Postup řešení a výsledné softwarové aplikace jsou popsány v dílčí zprávě k řešení [6]. Původní výsledky výzkumu byly prezentovány a publikovány ve sbornících prestižních konferencí [3, 4] a prestižním časopise Journal of process control [5]. Na daný cíl bude přímo navazovat cíl 'Návrh a implementace softwarových modulů pro monitorování a řízení'.

2c Dílčí výstupy

*TE01020197DV*** Knihovna softwarových rutin pro výpočetní a optimalizační operace v systémech monitorování a řízení*

Výstupem je knihovna softwarových rutin, výpočetních algoritmů a sub-modulů pro monitorování a řízení systémů s rozloženými parametry pro aplikace zejména v hutním a ocelářském průmyslu. Knihovna jednak obsahuje SW bloky pro realizaci složitějších monitorovacích a řídicích systémů v první (PLC) vrstvě řízení (různé typů regulátorů, estimatorů a komplexních algoritmů pro práci v reálném čase). Pro vyšší vrstvy řídicích systémů byla vytvořena sada sub-modulů a výpočetních rutin pro oblasti monitorování a predikci procesů chladnutí, válcování a pecních technologií. Vytvořené SW prostředky jsou blíže specifikovány v části Výsledky a v příložené zprávě [6].

2d Výsledky dle kategorie RIV

Druh výsledku podle struktury databáze RIV:

1. R – software

Knihovna softwarových rutin pro výpočetní a optimalizační operace v systémech monitorování a řízení

Knihovna se skládá z následujících SW řešení:

a) SW rutiny pro návrh a implementaci výpočetních operací a řídicích algoritmů:

Tato část SW knihovny je zaměřena na první, PLC vrstvu řídicích systémů. V rámci implementace algoritmů modelování a řízení na úrovni PLC byly naprogramovány jak základní algoritmy řízení, jakým je např. realizovaný PID regulátor se dvěma stupni volnosti doplněný anti-windup opatřením, tak rutiny pro tvorbu složitějších algoritmů řízení. Mezi tyto rutiny patří algoritmy umožňující implementaci (LTI) regulátoru s využitím základních maticových operací na úrovni PLC pro numerické řešení ODE. Dále byl vytvořen blok zpoždění umožňující realizaci libovolného zpoždění vstupního signálu nezávisle na periodě jeho vzorkování a velikosti dostupného zásobníku v PLC. Mezi složitější realizované algoritmy řízení dále patří regulátor založený na

inverzi dynamiky, konkrétně regulátor nekonečného řádu (IMC) ve stavové formulaci, který je doplněn stavovou zpětnou vazbou pro zajištění anti-windup opatření, Smithovo zapojení PID regulátoru a implementace tvarovačů signálu s dopravním zpožděním. Součástí jednotlivých bloků je kontrola dodržení/zaručení předvolené periody vzorkování ve výpočetním cyklu PLC pro případ nárůstu času programového cyklu uživatelského programu.

b) SW rutiny a sub-moduly pro výpočetní vrstvu řídicích systémů

Tato část SW knihovny se skládá z ucelených sub-modulů pro výpočetní a optimalizační operace vyšších vrstev řídicích systémů. S využitím dosažených výsledků aplikovaného výzkumu byly konkrétně implementovány následující softwarové sub-moduly:

- Výpočetní modul tzv. viewing faktorů pro návrh energetického toku do materiálu při průchodu průběžnou pecí.
- SW aplikace pro parametrizaci válcovací tratě (včetně uživatelského rozhraní)
- SW aplikace pro modelování chladnutí ocelových plechů a pásů (včetně uživatelského rozhraní)
- SW aplikace pro přepočet délky za tepla na délku za studena s vyhodnocením relativní chyby (včetně uživatelského rozhraní)

Výzkumné aktivity související s tvorbou Softwarové knihovny vedly, v souladu s návrhem projektu, k následujícím výsledkům

2. 2 x D – článek ve sborníku

- Zítek, P. - Fišer, J. - Vyhliďal, T.: Dominant three pole placement in PID control loop with delay. In Proceedings of the 9th Asian Control Conference (ASCC 2013). New York: IEEE Control System Society, 2013, . ISBN 978-1-4673-5767-8.
- Vyhliďal, T. - Hromčík, M. - Kučera, V.: Inverse signal shapers in effective feedback architecture. In Proceedings of the European Control Conference. Zurich: European Control Association, 2013, p. 4418-4423. ISBN 978-3-952-41734-8.

3. 1 x Jimp – článek v odborném časopise

- Zítek, P. - Fišer, J. - Vyhliďal, T.: Dimensional analysis approach to dominant three-pole placement in delayed PID control loops. Journal of Process Control. 2013, vol. 23, no. 8, p. 1063-1074. ISSN 0959-1524.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V následném roce řešení budou započaty práce na řešení činností:

- Algoritmizace a implementace softwarových modulů pro monitorování a řízení průmyslových procesů (1. 2014 – 9. 2015)
- Simulační testování navržených modulů (10. 2014 – 9. 2015)

V rámci daných aktivit budou zahájeny práce na sestavení knihovny komplexních softwarových modulů pro monitorování a řízení technologických procesů za účelem optimalizace kvality a maximální produktivity s minimalizací nákladů na energie a materiály. Pro tvorbu modulů budou využity aktualizované komponenty navržené knihovny softwarových rutin. Výzkum a vývoj bude pokračovat ve všech výše definovaných aplikačních oblastech válcování, modelování termodynamických jevů a pecních technologií. V řešení daných problémů průmyslové automatizace budou implementovány moderní metody estimace provozních stavů, algoritmy řízení a parametrizace daných průmyslových procesů. Výzkum a vývoj bude směřován k naplnění

druhého dílčího výstupu balíčku – ‘Softwarová modulární aplikace pro monitorování a řízení’, který bude též využit ve výsledku projektu [R - software].

Reference

- [1] Zítek P., Bušek J., Vyhlídal T. (2013), Anti-windup Conditioning for Actuator Saturation in Internal Model Control with Delays, to appear in edited book Volume of the Springer Series Advances in Delays and Dynamics, Vol. 2.
- [2] Simeunovic G., Zítek P., Vyhlídal T., (2013), Separate Identification of Coefficients and Delays of Time Delay Systems, to be submitted to Journal of Process Control.
- [3] Vyhlídal, T. - Hromčík, M. - Kučera, V.: Inverse signal shapers in effective feedback architecture. In Proceedings of the European Control Conference. Zurich: European Control Association, 2013, p. 4418-4423. ISBN 978-3-952-41734-8.
- [4] Zítek, P. - Fišer, J. - Vyhlídal, T.: Dominant three pole placement in PID control loop with delay. In Proceedings of the 9th Asian Control Conference (ASCC 2013). New York: IEEE Control System Society, 2013, . ISBN 978-1-4673-5767-8.
- [5] Zítek, P. - Fišer, J. - Vyhlídal, T.: Dimensional analysis approach to dominant three-pole placement in delayed PID control loops. Journal of Process Control. 2013, vol. 23, no. 8, p. 1063-1074. ISSN 0959-1524.
- [6] Vyhlídal T. a kol. (2013), Knihovna softwarových rutin pro výpočetní a optimalizační operace v systémech monitorování a řízení, zpráva s popisech dílčího výstupu TE01020197DV002 projektu Centra aplikované kybernetiky 3 - TE01020197

Pracovní balíček 23

Management projektu

1 Popis činností

Tým managementu pracoval 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., koordinátor cíle 2,

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

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

Ing. Jaroslava Nováková, hospodářka projektu,

Monika Hübnerová, sekretářka projektu.

Řešení projektu v roce 2013 probíhalo v souladu s návrhem projektu. Uskutečnila se pravidelná jednání na všech řídicích úrovních.

Kromě běžné manažerské práce byla uskutečněna plánovaná činnost „*Seminář a Rada CAK*“ s termínem zahájení 09/2013 a termínem ukončení 11/2013.

Seminář CAK se uskutečnil ve dnech 9. - 10. září 2013 v hotelu Monínec (Sedlec-Prčice) a přispěl k informovanosti týmů a koordinaci řešení projektu.

Rada projektu zasedala v rámci tohoto semináře dne 9. září 2013. Zápis z jednání je přílohou zprávy. Rada projektu konstatovala, že řešení projektu postupuje podle plánu a závazky budou splněny.

Tým managementu spolupracoval s docentkou Annou Kadeřábkovou při mapování potenciálu klastrování Center kompetence TA ČR.

Manažer projektu prezentoval projekt „Centrum aplikované kybernetiky“ účastníkům významných mezinárodních konferencí:

- 21st IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation, Plataniás-Chania, červen 2013,
- European Control Conference, Zürich, červenec 2013,
- 52nd IEEE Conference on Decision and Control, Firenze, prosinec 2013.

Při té příležitosti též přednesl odborné příspěvky [1], [2] a [3]. Podklad pro prezentaci projektu je přílohou odborné zprávy.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

V roce 2013 byl plánován milník „*Průběžná zpráva o řešení projektu*“ s termínem dosažení 12/2013. Splněno podáním této zprávy.

2b Dílčí cíle

V roce 2013 nebyly plánovány žádné dílčí cíle.

2c Dílčí výstupy

V roce 2013 byl plánován dílčí výstup pracovního balíčku 23 s názvem „*Průběžná zpráva o řešení projektu*“ s termínem dosažení 12/2013. Splněno podáním této zprávy.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Výsledky typu D – článek ve sborníku:

- [1] Kučera, V.: Parameterization of all controllers that stabilize a given plant. Proceedings 21st IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation, Platanias-Chania 2013, 776-781.
- [2] Kučera V.: Optimal decoupling controllers for singular systems. Proceedings European Control Conference, Zürich 2013, 306-311.
- [3] Castañeda E., Kučera V., Ruiz-León J.: Realization of precompensators via stabilizing non-regular static state feedback. Proceedings 52nd IEEE Conference on Decision and Control, Firenze 2013, 2121-2126.

Publikace jsou k dispozici na vyžádání u odpovědné osoby pracovního balíčku 23.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V souladu s návrhem projektu.