

ODBORNÁ ZPRÁVA O POSTUPU PRACÍ A DOSAŽENÝCH VÝSLEDČÍCH ZA ROK 2015

Příloha k průběžné za rok 2015

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 DOPORUČENÝ PRO PROGRAM CENTRA KOMPETENCE

Souhrnně popište průběhu řešení projektu se zdůrazněním podstatných skutečností, které během hodnoceného roku nastaly.

Pracovní balíčky:

1. Slovní popis činností, které probíhaly během hodnoceného roku v rámci jednotlivých pracovních balíčků (v hodnoceném roce se mohou vyskytnout činnosti zahájené, probíhající, ukončené, pro každou takovou činnost).
2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku
 - a. Milníky, kterých mělo být dosaženo v aktuálním roce řešení
(Popište, zda bylo milníku/ů dosaženo/nedosaženo a doplňte komentář.)
 - b. Dílčí cíle, kterých mělo být dosaženo v aktuálním roce řešení
(Popište, zda bylo dílčích cílů dosaženo/nedosaženo a doplňte komentář.)
 - c. Dílčí výstupy, kterých mělo být dosaženo v aktuálním roce řešení
(Popište, zda bylo dílčích výstupů dosaženo/nedosaženo a doplňte komentář.)
Dosažené dílčí výstupy budou samostatnými odbornými přílohami k průběžné zprávě.
Bude-li mít dílčí výstup jiný charakter, než je písemný dokument, bude vhodnou písemnou formou (textem, výkresy, obrázky, fotografiemi) zdokumentován.
 - d. Výsledky dle kategorie RIV, kterých mělo být dosaženo v aktuálním roce řešení
(Popište, zda bylo výsledku dosaženo/nedosaženo a doplňte komentář.)

Závěrem popište očekávaný průběh řešení projektu se zdůrazněním podstatných skutečností, které se během nadcházejícího roku očekávají.

Další případné dílčí zprávy, které je možné přiložit:

- stručná analýza rizik projektu;
- specifikace průběžných (již dosažených) přínosů projektu;
- různé.

Doporučený počet stran je 15 až 30 pro program CK.

Případné detailní informace lze připojit jako přílohu průběžné zprávy.

Pracovní balíček WP1 – Modelování celoevropského trhu s elektřinou zahrnující fyzikální model přenosové sítě

1. Popis činností

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

V roce 2015 podle plánu probíhaly následující činnosti:

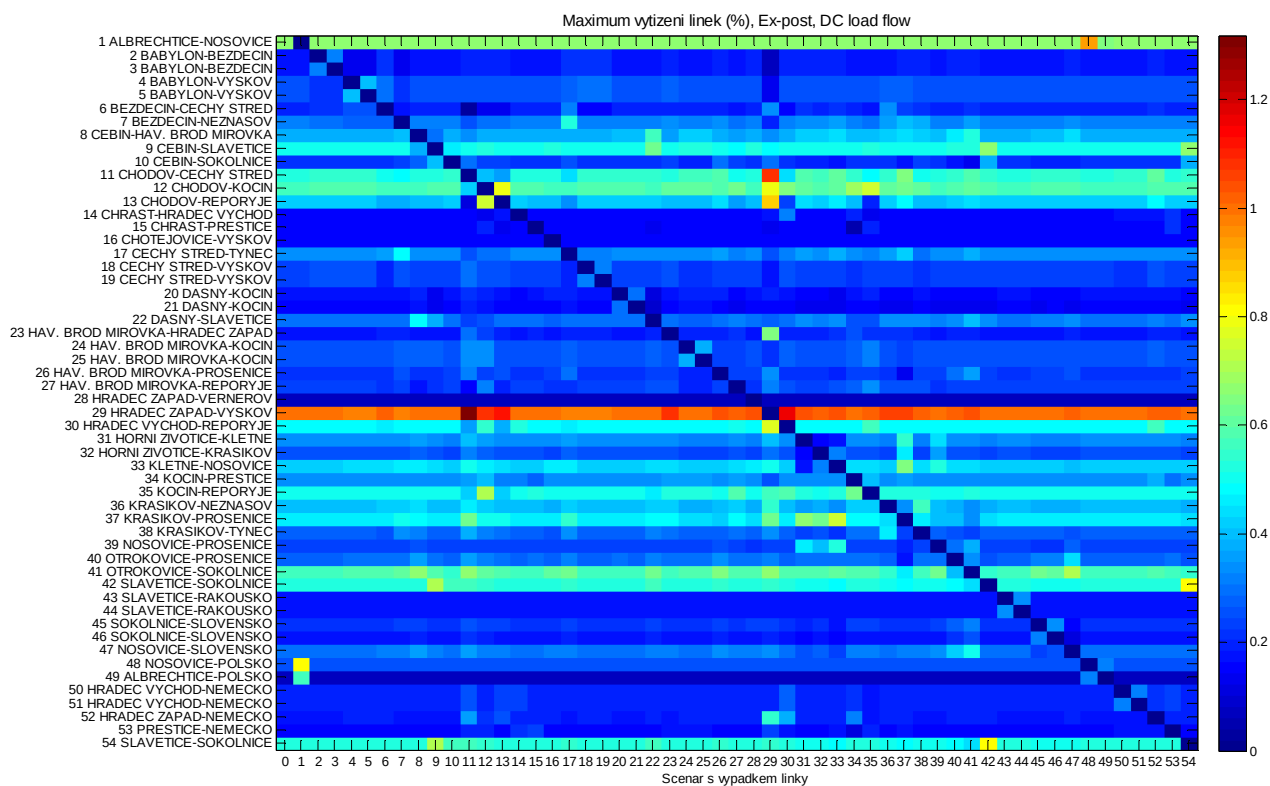
1. Implementace DC Load Flow modelu přenosové soustavy do celoevropského modelu trhu s elektřinou,
2. Testování a verifikace plně parametrizovaného modelu celoevropského trhu s elektřinou.

Byla dokončena implementace DC Load Flow modelu a probíhalo testování celkového modelu. Testování bylo rozděleno na ověření implementovaných funkcionalit formou automatických testů a na testy konzistence celého modelu formou expertního posouzení výstupů testovacích scénářů.

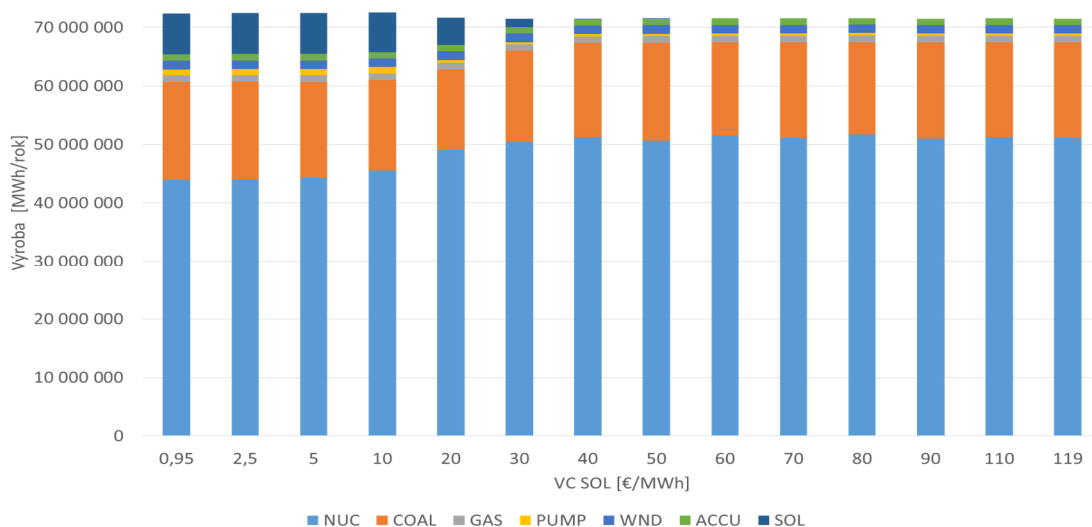
Cílem prvního testovacího scénáře bylo ověření konzistence DC Load Flow modelu toku výkonu v síti formou kontingenční analýzy přenosové soustavy. Cílem této analýzy je ověření vlivu výpadku jednoho přenosového vedení na schopnost celé sítě dále přenášet výkon bez omezení. Výsledek této analýzy je ilustrován na grafu WP1.1, kde je pro výpadek každé jednotlivé linky přenosové soustavy zobrazeno zatížení ostatních přenosových linek. Na horizontální ose grafu označuje i-tý sloupec výpadek i-té přenosové linky (v 0. sloupci je zobrazen stav bez výpadku). Na vertikální ose je označení vedení pomocí jmen rozvodů, které spojuje. V grafu je zobrazen maximální přenášený výkon během modelované doby vyjádřený relativně vzhledem k maximálnímu zatížení vedení.

Cílem dalšího testovacího scénáře bylo ověření konzistence ekonomického nasazování zdrojů a závislosti na měnících se nákladových charakteristikách jednoho typu zdroje. V ukázce výsledku testu na obrázku WP1.2 je zobrazeno, jak se mění zastoupení jednotlivých typů zdrojů (agregováno podle typu paliva zdroje) v závislosti na změně variabilních nákladů fotovoltaických zdrojů (tento scénář předpokládá ekonomické nediskriminační nasazení všech typů zdrojů).

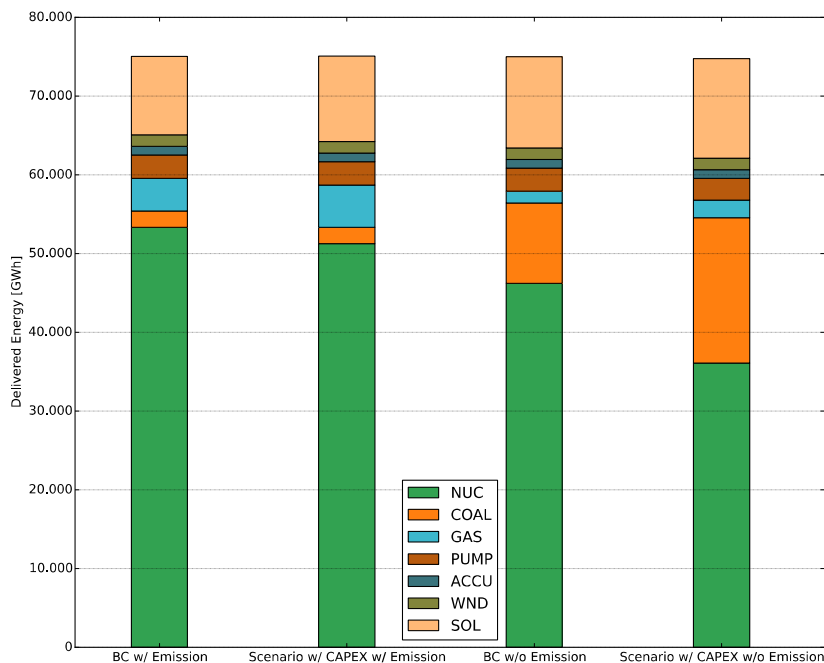
Poslední z prezentovaných testů použitý pro ověření konzistence modelu ukazuje, jak se mění skladba zdrojů (podíl na celkové vyrobené energii) v závislosti na tom, zda je aplikována platba za emisní povolenky a zda jsou do nákladových parametrů modelu promítnuty investiční náklady (v grafech značeno CAPEX). Výsledek testu ilustruje obrázek WP1.3.



Obr. WP1.1. Ukázka výsledku kontingenční analýzy



Obr. WP1.2. Test vlivu změny variabilních nákladů fotovoltaických zdrojů na skladbu zdrojů



Obr. WP1.3. Test vlivu emisních povolenek a investičních nákladů na skladbu zdrojů

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

Ve sledovaném období bylo plánováno dosažení milníku, dílčího výstupu a výsledku. Všechny plánované úkoly pracovního balíčky byly splněny.

2a Milníky

Milník pracovního balíčku „Plně parametrizovaný SW nástroj pro modelování celoevropského trhu s elektřinou“ byl dosažen v souladu s plánem.

2b Dílčí cíle

Ve sledovaném roce nebyly plánovány žádné dílčí cíle.

2c Dílčí výstupy

Byl dosažen dílčí výstup pracovního balíčku „Plně parametrizovaný SW nástroj pro modelování celoevropského trhu s elektřinou“,

2d Výsledky dle kategorie RIV

Plánovaný výsledek typu R (software) Plně parametrizovaný SW nástroj pro modelování celoevropského trhu s elektřinou“ byl dosažen. Současně byla prodána licence formou uzavření licenční smlouvy.

3. Očekávaný průběh řešení projektu

Další pokračování prací bude v souladu se strategickou výzkumnou agendou, jak byla specifikována v návrhu projektu.

Pracovní balíček WP2 – WAMS rádce operátora evropské elektrické přenosové sítě pro účely zvýšení stability a spolehlivosti

1. Popis činností

V roce 2015 probíhaly následující činnosti při řešení projektu.

„Návrh on-line monitoru ampacity a detektoru stavů a událostí elektrických sítí“

V průběhu roku 2015 byly dokončeny vývojové práce na online monitoru ampacity a detektoru stavů a událostí v elektrických sítích. Tyto funkcionality byly implementovány do sw modulů s API, které bylo definováno v loňském roce. Integrace těchto modulů pomocí API byla implementována do centrály WAMS společnosti AIS Brno.

„Testování a dokumentace monitoru ampacity a detektoru stavů a událostí elektrických sítí“

Po dokončení implementace bylo přistoupeno k testování modulů. Nejprve byla otestovaná funkcionality samotného modulu na off-line datech pomocí testovacího skriptu využívající definované API modulu. Pak následovala integrace a on-line testování s centrálou WAMS.

Modul ampacity byl nainstalován na testovací polygon WAMS ve východních Čechách, kde byl následně zprovozněn. V závěru roku 2015 v tomto polygonu probíhalo jeho testování a doladění.

Protože poruchové události jsou řídké jevy, bylo přistoupeno k testování metodou HIL (Hardware in The Loop). Na testovacím standu byly vygenerovány signály simulující událost, které byly následně přivedeny na svorky PMU jednotek. Události byly detekovány systémem WAMS a bylo vypočteno místo zkratu s přesností odpovídající teoretické přesnosti metody.

Popis systému, implementace a testování je uveden ve zprávě Janeček, P., Liška, J., Marvan, P.: System (HW+SW) a výsledky testů: Otestování on-line monitoru ampacity a detektoru událostí i stavů stability elektrické sítě, Plzeň, 2015.

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

Ve sledovaném období bylo plánováno dosažení milníku, dílčího výstupu a výsledku. Všechny plánované úkoly pracovního balíčku byly splněny.

2a Milníky

Milník pracovního balíčku „Software + systém: WAMS rádce operátora TSO pro účely zvýšení stability a spolehlivosti“ byl dosažen v souladu s plánem.

Milníku bylo dosaženo on-line implementací vyvinutých metod do SW modulů, jejich integrací s WAMS centrálou a on-line testováním.

2b Dílčí cíle

Ve sledovaném roce byl plánován dílčí cíl „On-line monitor ampacity a detektoru událostí i stavů stability elektrických sítí“.

Plánovaného cíle bylo dosaženo implementací SW modulů a upravením centrály WAMS pro integraci těchto modulů.

2c Dílčí výstupy

Byl dosažen dílčí výstup pracovního balíčku „Systém (HW+SW) a výsledky testů: Otestování on-line monitoru ampacity a detektoru událostí i stavů stability elektrické sítě“.

Dílčího výstupu bylo dosaženo formou odborné zprávy Janeček, P., Liška, J., Marvan, P.: Systém (HW+SW) a výsledky testů: Otestování on-line monitoru ampacity a detektoru událostí i stavů stability elektrické sítě, Plzeň, 2015.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Plánovaný výsledek typu R (software) „On-line monitor ampacity a detektor událostí i stavů stability elektrické sítě“ byl dosažen.

V průběhu projektu se ukázalo vhodné implementovat plánovanou funkcionalitu tohoto výsledku do dvou SW modulů:

SW modul On-line detektor a lokalizátor poruchových událostí v elektrických sítích

SW modul On-line monitor ampacity

K tomuto rozhodnutí bylo přistoupeno především z důvodu, že funkcionality každého modulu jsou nezávislé a každý modul tak může být provozován nezávisle na ostatních modulech. Funkcionalita stability byla implementována přímo v centrále WAMS.

3. Očekávaný průběh řešení projektu

Další pokračování prací bude v souladu se strategickou výzkumnou agendou, jak byla specifikována v návrhu projektu.

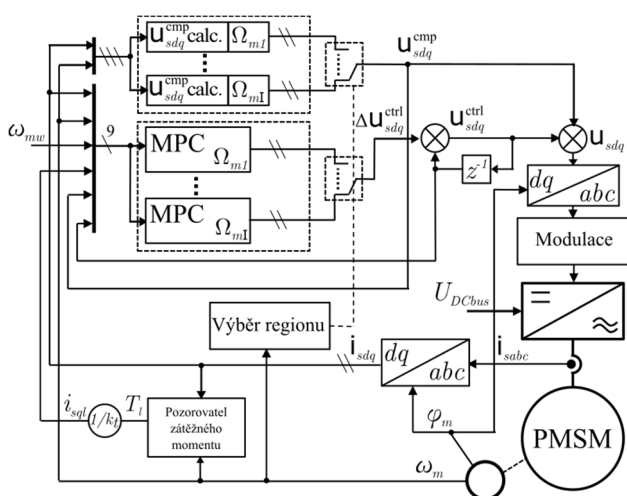
Pracovní balíček WP3 – Vysoce efektivní řízení elektrických strojů

1. Popis činností

V rámci řešení pracovního balíčku WP3 byly ve sledovaném roce 2015 realizovány celkem tři činnosti:

- Vývoj algoritmů pro energeticky optimální řízení motorů,
- Vytváření pokročilých funkcí pro interpret funkcí,
- Realizace hardwarového modulu pro konverzi signálů inkrementálního snímače na unifikovanou sběrnici.

Vývoj algoritmů energeticky optimálního řízení motorů byla činnost naplánovaná napříč celým řešením pracovního balíčku WP3. V roce 2015 VUT pokračovalo s vývojem těchto algoritmů s využitím prediktivního řízení. MPC regulátor zahrnuje model regulovaného systému, který se využívá k predikci chování tohoto systému. Velkou výhodou použití MPC regulátorů je korektní práce s omezeními a možnost přesné definice optimalizačního kritéria. Tedy při hledání optimálního řešení, pohlížíme na systém globálně včetně všech definovaných omezení. Hlavní nevýhodou MPC regulátorů je jejich výpočetní náročnost a proto nalezneme jejich uplatnění spíše při řízení systémů s pomalejší dynamikou např. řízení vytápění budov. Při návrhu explicitního lineárního MPC regulátoru byly vyřešeny dva hlavní problémy. Implementace nelineárních omezení a linearizace modelu PMSM při zachování informace o možnosti odbuzení. Na Obr. WP3.1 je patrné, že akční zásah je složen ze dvou částí. První část požadovaného statorové napětí je tvořena kompenzačním napětím a druhá část je generována z MPC regulátoru. Hodnota kompenzačního napětí je určována podle aktuální rychlosti a kompenzuje chybu modelu při vzdalování se od pracovního bodu, pro který byla určena lineární náhrada.



Obr. WP3.1: Schéma explicitního lineárního MPC

Nejprve bylo provedeno simulační ověření funkčnosti navrženého explicitního lineárního MPC regulátoru na synchronní motor s permanentními magnety. A dále byly provedeny testy funkčnosti na

reálném PMSM řady TGT3 s využitím systému reálného času CompactRIO 9082. V plánu je publikace tohoto algoritmu v prestižním zahraničním časopise. Firma EmSpin přispěla v této oblasti prací na optimálním využití elektrické energie při brždění do baterek. Prováděla testování dynamicky náročných provozních podmínek v celém spektru požadovaných otáček. Část testů probíhala v laboratorních podmínkách na testovací stolici, kde se dají dobře emulovat podmínky pro regenerativní brždění s proměnlivým cyklem brzdného momentu a část jich probíhala přímo na elektrickém skútru pomocí bezdrátové komunikace ZigBee pomocí zásuvného modulu, který byl osazen na frekvenčním měniči. V oblasti nízkých pracovních otáček, kdy je hodnota zpětné EMF nižší než napětí baterie, je potřeba zvýšit indukované napětí nad hodnotu napětí baterie. Aplikace BLDC komutace umožňuje aplikovat půlmůstkové komutační brždění a celomůstkové komutační brždění. Obě metody byly podrobně porovnány reálným měřením. Nejperspektivnější akumulátory pro tuto aplikaci jsou články na bázi Lithia a Polymeru. Pro dlouhou životnost lithiových článků je vhodná nabíjecí metoda FOC komutace CC-CV (Constant current – Constant voltage).

Pokračovaly činnosti na vytváření pokročilých funkcí pro interpret funkcí. Podobně jako loni byly sledovány dva směry programování funkcí. Jedním byly funkce pro rychlý interpret funkcí vestavěný v digitálním modulárním servozesilovači a druhým funkce pro interpret funkcí realizovaný pomocí eLua. Po základních funkcích, které umožňují volbu módů režimu digitálního modulárního servozesilovače (momentový, rychlostní, polohový), start pohybů v nastaveném módu, čtení a zápis na digitální vstupy a výstupy, čtení analogových vstupů, zápis a čtení na komunikační port CAN, nastavování parametrů proměnných např. cílová poloha, rychlost, moment, nastavení hodnot regulátorů, byly realizovány pokročilé funkce pro elektronickou převodovku, vačku, čítač a polohové funkce profilového generátoru (jed' relativně, absolutně apod.). Popis pokročilých funkcí, společně se samotným funkčním interpretem je součástí samostatné dokumentace popisující výsledek balíčku WP3, kterým je digitální modulární servozesilovač s interpretem funkcí. Podrobný popis funkcí a ukázka jejich použití v interpretu funkcí postaveném na jazyce eLua je možné nalézt v dílčím výstupu, který je taktéž přiložen k průběžné zprávě.

Souběžně probíhaly práce na realizaci hardwarového modulu pro konverzi signálů inkrementálního snímače na unifikovanou sběrnici. Z důvodu zvolené architektury měniče postavené na SoC Zynq bylo upuštěno od kompletní hardwarové realizace modulu pomocí hardware v pravém slova smyslu. Na straně reálného hardware se provádí pouze zpracování diferenčního připojení inkrementálního snímače a připojení jeho signálů k hradlovému poli. V FPGA probíhá zbytek konverze na unifikovanou sběrnici. Algoritmus v FPGA potom provádí konverzi ze signálů inkrementálního snímače, kterými jsou o devadesát stupňů posunuté obdélníkové signály A, B a index puls Z, na AXI 4 Lite sběrnici. SoC Zynq je společně s vývojovým prostředím Vivado postaveno na bohatém využívání právě AXI sběrnice. AXI 4 Lite je její zjednodušená pomalejší verze, která je pro načítání informací o poloze plně dostačující. Unifikace na sběrnici AXI zjednodušuje připojení k dalším realizovaným blokům. Zvolený přístup umožňuje pozdější změny zpracování signálů. Přestože se jedná o hardwarové změny, je možné je realizovat v jazyce VHDL. V jazyce VHDL je celý modul naprogramován. Modul byl vyzkoušen na různých typech inkrementálních snímačů od různých výrobců.

Vedle výše popsaných plánovaných činností musely probíhat a probíhaly další činnosti, které byly nutné k dosažení plánovaných milníků a výsledku. V rámci vývoje nových metod a snímačů pro měření

elektrických veličin motorů pokračoval výzkum v oblasti náhrady snímače úhlového natočení algoritmem v signálovém procesoru, který na základě znalosti modelu pohonu provádí odhad této veličiny. Jedná se o tzv. bezsnímačové řízení, kterým se společně zabývali VUT a EmSpin. Problematika bezsnímačového řízení, rozuměno tím řízení motorů s permanentními magnety bez čidla polohy a otáček, je však složitá úloha a je použitelná pouze ve specifických podmínkách, které bohužel u řízení elektrických kol a skútrů splněny nejsou. Problematická je úloha odhadu polohy natočení rotoru při nízkých otáčkách. Teoretické výsledky dosažené partnery z VUT v Brně ukazují, že v oblasti nízkých otáček motoru dochází ke ztrátě pozorovatelnosti, což dokazuje nesprávné odhadování polohy při těchto otáčkách. Překonání rozsahu nízkých otáček neprobíhá v dané aplikaci co nejrychleji, jak by bylo žádoucí, ale je ovlivněno řadou faktorů, jakými jsou zkušenosti a nebojácnost řidiče, jeho hmotnost, rozjezd do kopce nebo z kopce a další. Ve většině případů se systém rozběhne správně. V některých případech však bohužel dojde k nesprávnému rozjezdu. Toto chování zatím neumožňuje nasazení těchto pohonů do masové výroby a dosažení kýženého ekonomického efektu. Použití mikroprocesoru s větším výpočetním výkonem by umožnilo použití pokročilejších estimátorů, avšak za cenu zvýšení výrobních nákladů měniče, které bohužel převyšuje cenu stávajících řešení pracujících se snímači polohy. Dalším problémem je u bezsnímačového řízení identifikace počátečního natočení rotoru. Tento problém byl řešen na VUT s využitím injekce vysokofrekvenčního signálu. Tato metoda odhadu polohy rotoru je určena pro synchronní motory s permanentními magnety s rozdílnými hodnotami indukčností v příčné (L_d) a podélné (L_q) ose. Do této kategorie spadají především motory s permanentními magnety vetknutými do rotoru ($L_q > L_d$). Velmi často lze do této kategorie zahrnout i motory s permanentními magnety umístěnými na povrchu rotoru, kde vlivem saturace magnetickým tokem permanentních magnetů dojde ke změně indukčnosti v podélné ose (L_d). Princip metody injektování vysokofrekvenčního signálu spočívá v modulaci akčního zásahu (v d-q souřadnicovém systému) harmonickým vysokofrekvenčním signálem $\cos(j\omega t)$. Vysokofrekvenční signál byl přiveden do podélné složky d-q souřadnicového systému, kde tento signál nezpůsobuje zvlnění momentu generovaného motorem. Metoda odhadu polohy rotoru injektováním vysokofrekvenčního signálu byla simulována na modelu synchronního motoru s permanentními magnety.



Obr WP3.2: Fotografie prototypu Digitálního modulárního servozesilovače s interpretem funkcí

Firma TGdrives pracovala na prototypu digitálního modulárního servozesilovače (obr. WP3.2) s interpretem funkcí. Modularita byla sledována na několika úrovních. Oddělení výkonové a řídicí elektroniky umožňuje využít řídicí desku pro různé typy výkonové elektroniky. V dokumentu k prototypu jsou popisovány dvě verze výkonových desek s odlišným pracovním napětím (48V a 320V) s výkonem do 1kW a umožňující řízení dvou pohonů. Řídicí desku by bylo možné použít pro vyšší výkony. Použití SoC Zynq umožňuje modularitu v oblasti připojení různých typů snímačů polohy a různých typů periférií. Na navrženém hardware byly realizované různé typy zkoušek. Zátěžové testy, teplotní testy a testy na elektromagnetickou kompatibilitu. Bližší informací k realizovanému prototypu, včetně popisu interpretu funkcí a výsledků testů je možné nalézt v jeho samostatném popisu, který je součástí průběžné zprávy.

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

Ve sledovaném období bylo plánováno dosažení milníků, dílčích cílů, dílčích výstupů a výsledku. Všechny plánované úkoly pracovního balíčky byly splněny.

2a Milníky

Milník pracovního balíčku

„Výroba nového digitálního servozesilovače pro výkony kolem 1kW

- aplikace energeticky optimálních algoritmů pro řízení servozesilovače
- vytvoření knihovny funkcí pro interpret funkcí, která urychlí nasazení nového servozesilovače v široké škále úloh
- hardware modul pro resolvery a inkrementální snímače konvertující jejich výstup na unifikovanou sběrnici se softwarovými funkcemi pro sebediagnostiku
- vývoj nových metod a snímačů pro měření veličin elektrických motorů“

byl plně dosažen.

Firmou TG drives byl vyroben prototyp modulárního digitálního servozesilovače. Ten umožňuje současné řízení dvou motorů o výkonu do 500W, celkově je tedy maximální dodávaný výkon 1kW. VUT Brno se zabývalo návrhem nových algoritmů pro energeticky optimální řízení, které jsou postavené na využití prediktivního řízení. Výsledkem je ověřený funkční algoritmus otestovaný jak v Simulacích, tak na reálném synchronním motoru s permanentními magnety. V této oblasti se na testování podílela firma EmSpin. Firma TG drives vytvořila dále knihovnu funkcí pro interpret funkcí, která je vestavěná v modulárním servozesilovači. Interpret se programuje v jazyce C, jeho výhodou je vysoká rychlost a tím dosažitelná krátká perioda vzorkování. Unifikace sběrnic pro připojení různých typů snímačů polohy probíhá na úrovni FPGA. Je použita AXI sběrnice, která se v SoC Zynq používá. VUT navrhlo a simulačně ověřilo algoritmy pro zpracování signálů ze snímače GMR. Číslíkové zpracování zpřesňuje získané výsledky.

2b Dílčí cíle

Ve sledovaném roce byl plánován dílčí cíl „Otestované funkce pro interpret metodou processor in the loop“.

Plánovaného cíle bylo dosaženo. Jednotlivé funkce, které byly vytvořené pro funkční interpret, byly pečlivě otestovány přímo na reálném PMS motoru malého výkonu. Od testování metodou Procesor In

the Loop bylo upuštěno, protože by při testování nepřinášela žádné výhody, spíše komplikace ve formě prodloužení doby trvání testů z důvodu komunikačních zpoždění. Použití PIL simulace je opodstatněno je v případě možného zničení testovaného hardware, nebo v případě paralelně probíhajícího vývoje hardware, který v době, kdy mají být prováděny testy, ještě neexistuje. Obě tyto podmínky však nebyly splněny. Pro bezpečné provedení testů bylo třeba zajistit správné fungování stavového automatu měniče pro přechod do bezpečného stavu v případě nesprávného chování způsobeného chybou v testované implementované funkci. Matlab Simulink byl využit na simulační ověření správnosti implementovaných algoritmů.

2c Dílčí výstupy

Byly plánovány dva dílčí výstupy, obou bylo úspěšně dosaženo.

„Digitální modulární servozesilovač“:

Realizovaný digitální modulární servozesilovač představuje nový koncept měniče pro víceosé aplikace. Obsahuje moderní prvky digitálního řízení kombinující výkonný vícejádrový procesor a FPGA v jednom SoC. Modularita byla sledována a realizována na několika úrovních. Jednoduchá změna výkonové části pracující s napětím meziobvodu 48V, nebo na 320V. Umožňuje připojení poměrně široké škály snímačů úhlového natočení. Tento dílčí výsledkem je částí výsledku 3, kterým je Digitální modulární servozesilovač s interpretem funkcí Jeho bližší popis je uveden v technické dokumentaci popisující tento výsledek, která je součástí průběžné zprávy.

„Knihovna funkcí pro interpret“:

Byla vytvořena knihovna funkcí ve skriptovacím jazyce eLua. Tyto funkce jsou přehledně rozděleny do tří kategorií. Kategorie MC obsahuje základních funkce pro ovládání měniče servomotoru, kategorie IOC obsahuje funkce související se analogovými a číslicovými vstupy a výstupy a kategorie CTRL knihovna pokročilých funkcí pro realizaci řídicích struktur měniče. Mezi pokročilé funkce patří automatické nastavení parametrů proudových regulátorů, funkce elektrického hřídele, vačky a další. Jednotlivé funkce je možné zřetězovat a vytvářet tak další složitější funkce. Knihovna je přehledně zdokumentována na 17 stránkách, dokument je přiložen k průběžné zprávě. Dokument současně slouží jako návod k použití knihovny funkcí interpretu, je doplněn řadou příkladů použití.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Plánovaný výsledek typu P (prototyp) „Digitální modulární servozesilovač“ a plánovaný výsledek typu R (software) „Knihovna funkcí pro interpret“ viz popis dílčích výstupů.

3. Očekávaný průběh řešení projektu

Další pokračování prací bude v souladu se strategickou výzkumnou agendou, jak byla specifikována v návrhu projektu.

Pracovní balíček WP4 – Teleprezenční mobilní robot pro průzkum v nebezpečných oblastech

1. Popis činností

Po vývoji samostatného stacionárního teleprezenčního systému v letech 2012 a 2013 byl v letech 2014 a 2015 vyvinut a otestován robot, který takový teleprezenční systém obsahuje.

Samotný vývoj robotu byl dokončen v létě roku 2015. Robot byl ve finální verzi pod názvem Orpheus-XTA přihlášen k ochraně Evropským průmyslovým vzorem, který byl 4. 9. 2015 udělen pod číslem 002766832-0001.



Obrázek WP4. 1. Robot Orpheus-XTA

Do roku 2015 zasahovaly následující činnosti:

- Návrh a výroba demonstrátoru mechaniky robotu.
- Vývoj řídicí jednotky robotu a komunikačních jednotek.
- Zkoušky robotu.
- Integrace jednotlivých částí robotu a operátorského kompletu.

Podle plánu byl do robotu integrován dříve vytvořený systém pro vizuální teleprezenci obsahující senzorický manipulátor se třemi stupni volnosti a samotnou senzorickou hlavici s pěti kamerovými snímači – dvěma termovizními kamerami, dvěma barevnými kamerami s vysokým rozlišením a dálkoměrnou TOF (time-of-flight) kamerou. Celý tento systém byl integrován do robotické platformy Orpheus-XTA nejen mechanicky a po elektronické stránce, ale rovněž z hlediska systémového a

programového. Hlavici je tak možné ovládat jak ze stacionární, tak také z mobilní obslužné aplikace, případně i z mobilních telefonů, apod.

Robot byl dále vybaven novou řídicí mikroprocesorovou jednotkou na bázi procesoru ARM (STM32F427), která byla vyvinuta na pracovišti VUT v Brně speciálně pro tento typ robotů. Oproti původní jednotce s procesorem ColdFire v2 je tato výpočetně výkonnější, má integrováno více periférií (především CAN a 6 x sériové linky) a je navržena jako velmi odolná.

Součástí robotického systému jsou také ovládací stanice. Bylo rozhodnuto vytvořit dvě stanice s různým předpokládaným způsobem použití. Stacionární stanice založená na výkonném počítači třídy PC slouží především pro vývoj a testování nových algoritmů. Umožňuje pokročilé funkce, jako je vizuální teleprezence s multispektrální datovou fúzí, automatickou tvorbu multispektrálních map pomocí dříve popsané senzorické hlavičky a manipulátoru se třemi stupni volnosti, atd. Dále byla vytvořena mnohem kompaktnější jednotka určená pro práci v terénu, která je určena především pro samotné ovládání robotu a sběr dat.

Robot byl otestován na několika úrovních. Nejdříve proběhlo testování vývojovou skupinou na pracovištích VUT v Brně, LTR s.r.o. a TGDrives s.r.o. Dále bylo od léta 2015 provedeno několik experimentů ve vojenském prostoru Libavá s předpokládanými uživateli. Zde byly testovány především provozní vlastnosti, průchodivost terénem, manipulace a uživatelské rozhraní. Dále robot prošel zkouškou na EMC na pracovišti VUT a zkouškami na vibrace a environmentální odolnost v akreditované zkušebně. Původně plánovaná zkouška na chemickou kontaminaci/dekontaminaci nebyla po poradě s VVU s.p. a SURO v.v.i. provedena. Vzhledem k zaměření robotu především na experimentální činnosti bude v případě nutnosti vždy provedeno dodatečné zakrytování jeho částí, což již bylo provedeno a otestováno při měření plošné intenzity záření gama.

Robot byl dále několikrát použit jako nosná platforma pro experimenty s měřením záření gama v rámci prací na projektu TAČR EPSILON - Systém pro automatickou/automatizovanou detekci/

monitorování radiační situace a lokalizaci horkých zón, založený na inteligentní multifunkční detekční hlavě použitelné pro stacionární a mobilní platformy vč. Bezobslužných, PID TH01020862. Jde o projekt řešený společně pracovištěm VUT v Brně a VVU s.p. od dubna 2015. Dle předpokladů zde bude robot intenzivně využíván i v dalších letech řešení projektu, později pravděpodobně ponese nově vyvíjený směrový detektor záření gama.

V druhé polovině roku 2015 bylo také provedeno několik původně neplánovaných experimentů společně se skupinou pracující na WP6 – Komponenty robotického systému interakce člověk-stroj, pracovištěm ČVUT v Praze. Šlo o předběžné testování multi-robotické autonomní navigace s heterogenními roboty, automatického vyhýbání překážkám a convoyingu v heterogenních robotických systémech.

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

Ve sledovaném období bylo plánováno dosažení milníku, dílčího výstupu a výsledku. Všechny plánované úkoly pracovního balíčky byly splněny.

2a Milníky

Pro rok 2015 byl naplánován jeden milník – „Ukončení výzkumu a vývoje na odolném mobilním průzkumném robotu“, který byl splněn.

Vývoj robotu byl dokončen, robot byl ve finální verzi pod názvem Orpheus-XTA přihlášen k ochraně Evropským průmyslovým vzorem, který byl 4. 9. 2015 udělen pod číslem 002766832-0001. Robot byl dále otestován na několika úrovních. Nejdříve proběhlo testování vývojovou skupinou, dále bylo provedeno několik experimentů ve vojenském prostoru Libavá s předpokládanými uživateli. Dále robot prošel zkouškou na EMC na pracovišti VUT a zkouškami na vibrace a environmentální odolnost v akreditované zkušebně.

2b Dílčí cíle

V roce 2015 nebyl pro WP4 plánován žádný dílčí cíl.

2c Dílčí výstupy

Byl dosažen dílčí výstup pracovního balíčku „Systém pro vizuální teleprezenci“.

Již dříve navržený systém byl dokončen a provedena jeho integrace do robotu Orpheus-XTA. Předpokládané parametry, tedy rozlišení kamer, a rozsahy a rychlosti pohybů kamerového manipulátoru se třemi stupni volnosti byly dosaženy v souladu s plánem. Výsledný manipulátor je použitelný nejen pro plánovanou vizuální teleprezenci, ale především díky přesnosti i pro automatickou tvorbu digitálních map.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Plánovaný výsledek typu F (průmyslový vzor) „Robot Orpheus-XTA“ byl přihlášen k ochraně Evropským průmyslovým vzorem, který byl 4. 9. 2015 udělen pod číslem 002766832-0001.

3. Očekávaný průběh řešení projektu

Další pokračování prací bude v souladu se strategickou výzkumnou agendou, jak byla specifikována v návrhu projektu.

Pracovní balíček WP5 – Hlasové systémy pro interakci člověka se stroji

1. Popis činností

V průběhu roku 2015 byly dokončeny následující činnosti:

„Sledování nových teoretických poznatků, sledování trhu v oblasti hlasových systémů“

Zahájení: 03/2012; ukončení 12/2015.

Sledování nových teoretických poznatků probíhalo zejména formou studia odborných publikací, případně aktivní účasti pracovníků Centra na mezinárodních konferencích. Sledovány byly zejména aktuální výsledky referované na konferencích ICASSP, Interspeech, TSD a SPECON, tj. prestižních konferencí, které byly aktivně navštíveny pracovníky Centra anebo neformálními spolupracovníky a doktorandy řešitelského pracoviště. Současně byl sledován i vývoj na trhu v oblasti hlasových systémů, a to především formou zjišťování poptávky potencionálních odběratelů.

„Kombinace statistického a znalostního přístupu při řízení hlasového interaktivního systému“

Zahájení: 3/2014; ukončení 4/2015.

V roce 2015 byla završena činnost kombinace statistického a znalostního přístupu v hlasovém interaktivním systému. V tomto roce byl implementován runtime modul umožňující integraci do prototypu hlasového interaktivního systému (viz činnost 6, balíček č. 5). Tento běhový modul byl optimalizován pro použití v reálném čase, pozornost byla věnována především rychlosti zpracování částečných hypotéz z modulu rozpoznávání řeči v průběhu hlasové interakce. Běhový modul je využitelný pro libovolnou úlohu, využívá znalostního přístupu pro detekci sémantických entit, dále je možné (v případě dostupných trénovacích dat) natrénovat statistický přístup využívající mezivýsledek znalostního přístupu.

„Integrace modulů hlasového interaktivního systému, tvorba prototypů a jejich testování“

Zahájení: 4/2015; ukončení 12/2015.

Byl vytvořen a otestován prototyp hlasového interaktivního systému. Tento systém využívá dílčí moduly vyvinuté v rámci centra CAK, jedná se především o modul rozpoznávání řeči, modul porozumění řeči, modul syntézy řeči, modul pro automatické zpracování audiovizuálních dat a modul pro vyhledávání v indexovaných rozpoznávaných datech. Rovněž je možné využít modul pro manuální transkripci a anotaci dat popsány v publikaci [1]. Tyto moduly jsou integrovány a zpřístupněny pomocí dvou samostatných aplikačních programových rozhraní (API) – API pro řečový archiv a API pro hlasové interaktivní systémy. Prototyp je implementován jako webová aplikace využívající těchto API.

[1] VALENTA, T., ŠMÍDL, L.: WebTransc – A WWW Interface for Speech Corpus Production and Processing. SPECOM 2015. *Lecture Notes on Computer Science*, 2015, vol. 9319, pp. 487-494. Springer Verlag. ISSN 0302-9743 (SCOPUS)

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

Ve sledovaném období bylo plánováno dosažení milníku, dvou dílčích cílů, dílčího výstupu a dílčího výsledku. Všechny plánované úkoly pracovního balíčky byly splněny.

2a Milníky

Plánován milník „Dokončena optimalizace a implementace metod řízení hlasových interaktivních systémů; završen vývoj prototypů a provedena kompletace experimentálních verzí, jejich evaluace a testování; zahájen následný transfer výsledných produktů na trh.“

Milníku bylo dosaženo. Při kompletaci modulů a výsledných aplikačních programových rozhraní byl zvláštní zřetel věnován co nejjednoduššímu nasazení technologií jednak v podobě software-as-a-service (SaaS), tak v podobě nasazení u konkrétního zákazníka. Různou kompletací jednotlivých modulů lze vytvořit dva primární produkty – automatizovaný systém pro archivaci a vyhledávání v audiovizuálních datech a systém pro interaktivní hlasovou komunikaci v reálném čase. Tyto produkty jsou připraveny pro transfer na trh.

2b Dílčí cíle

Byly plánovány dva dílčí cíle:

„Vývoj a implementace metod kombinace statistického a znalostního přístupu při řízení systémů hlasové interakce“

Dílčí cíl byl dosažen. Hlasovou interakci člověka se strojem je podpořena systémem porozumění řeči, který efektivně kombinuje statistický a znalostní přístup. Řízení hlasového dialogu se předpokládá především na základě znalostního přístupu, přičemž modulu pro rozpoznávání, porozumění a syntézu řeči jsou zpřístupněny pomocí vhodného aplikačního programového rozhraní. Toto rozhraní pracuje v reálném čase, bylo proto nutné věnovat pozornost optimalizaci jednotlivých modulů. Optimalizace byla provedena vhodným nastavením prořezávacích prahů, počtu procesorových jader a dalších metaparemetrů jednotlivých modulů.

„Integrace modulů hlasového interaktivního systému a tvorba prototypů“

Druhý dílčí cíl byl rovněž splněn. Testování bylo provedeno dvěma způsoby. Subsystem pro automatizovanou indexaci a vyhledávání v audiovizuálních datech byl naplněn nahrávkami zpravodajských pořadů České televize (pořady: Zprávy ve 12, Zprávy v 17, Události, Události, komentáře), celkem se jedná o 2689 pořadů o celkové délce více než 1500 hodin. Nové pořady jsou do archivu průběžně přidávány. Cílem testování bylo zajistit robustnost a propustnost celého systému. Subsystem pro hlasové interaktivní systémy byl otestován interaktivně v průběhu jeho vývoje, přičemž byla odhalena celá řada chyb způsobujících především prodlevy ve zpracování, a tím pádem zaostávání za zpracováním v reálném čase. Opravením těchto chyb bylo možné dosáhnout robustního zpracování v reálném čase i pro dlouhé interaktivní relace (v řádu hodin).

2c Dílčí výstupy

Byl dosažen dílčí výstup „Prototyp hlasového interaktivního systému“.

Realizovaný systém bude integrovat moduly rozpoznávání a syntézy řeči, dialogový manažer (příp. modul inteligentního uživatelského interface) a interface pro komunikaci s externí aplikací. Zpracované moduly budou schopny práce v reálném čase, v případě modulu rozpoznávání řeči počítáme

s pracovním slovníkem převyšujícím 1 milion slov. To bude klást zvýšené nároky na konstrukci dekodéru, který bude navíc schopen při rozpoznávání vyhodnocovat 5 až 10 nejlepších hypotéz.

Hlasový interaktivní systém komunikuje s člověkem v hlasovém nebo psaném dialogu s cílem vyhledávání relevantních informací ve velkých audiovizuálních archivech – v řešené úloze šlo o archiv TV zpravodajských pořadů. Systém pracuje s modulem automatického rozpoznávání řeči (slovník větší než 1 mil slov), modulem počítačové syntézy řeči a dialogovým modulem pro inteligentní interakci. Systém umožňuje automaticky zpracovávat nové zpravodajské pořady. Vstupní audio řetězec je rozpoznán a indexován na slovní a fonetické úrovni. Je využita moderní technologie Docker (masivní paralelní zpracování) vhodná pro cloudové infrastruktury. Dokumentová databáze MongoDB umožňuje efektivní škálování databázového clusteru pro DB o velikosti mnoha terabytů. Interaktivní dialogový systém využívá webové rozhraní HTML5 pro textový vstup v kombinaci s technologií WebRTC, která umožňuje hlasovou interakci (přenos hlasu mezi klientským webovým prohlížečem a modulem dialogového manažeru).

2d Výsledky dle kategorie RIV

Plánován byl výsledek typu Z (poloprovoz, ověřená technologie) „Prototyp hlasového interaktivního systému“. Výsledek byl splněn.

3. Očekávaný průběh řešení projektu

Pracovní balíček byl úspěšně uzavřen. Spolupráce výzkumné skupiny na ZČU v Plzni a partnerů ve spolupracující firmě SpeechTech s.r.o. probíhala bez problémů. Další etapa řešení projektu TE01020197 bude využívat úspěšný model spolupráce i pro dosažení návazných cílů projektu. Složení řešitelských týmů se nebude zásadně měnit. Práce budou pokračovat v souladu se strategickou výzkumnou agendou, jak byla specifikována v návrhu projektu.

Pracovní balíček WP6 – Komponenty robotického systému interakce člověk-stroj

1. Popis činností

„Vývoj metod vizuální navigace a vyhodnocení její spolehlivosti“

V roce 2015 byl dokončen vývoj metody vizuální navigace SurfNav, která byla rozšířena o další funkcionality. Klíčovou je zejména aplikace metody ve scénáři zpětné navigace (tzv. homing), která předpokládá kromě standardní kamery orientované ve směru jízdy i druhou kameru, která sleduje situaci proti směru jízdy. Metoda SurfNav se při jízdě z bodu A do bodu B učí z dat z obou kamer současně s tím, že je ve výkonné fázi schopná realizovat navigaci z místa B do místa A z dat „zpětné“ kamery bez nutnosti otáčet vozidlo. Tato funkcionalita je vhodná zejména pro roboty/vozidla větších rozměrů, jejichž manévrovatelnost v úzkých prostředích je omezená. Takovým příkladem je např. vozidlo TAROS firmy VOP CZ, s.p., na jehož vývoji se řešitelský tým na ČVUT spolupodílí a které bylo použito pro experimentální ověření vizuální navigace v reálném prostředí.

Dalším scénářem, který byl realizován a experimentálně verifikován, byl přenos informace pro vizuální navigaci mezi různými typy robotů. V tomto scénáři byla data naučená při navigaci jedním robotem přenesena na typologicky jiný robot, kterým byla použita pro navigaci po stejné trajektorii, jakou projel první robot. Ve spolupráci s týmem z VUT Brno, který se podílí na řešení balíčku 4, pak byl vytvořen a otestován modul, který využívá informace z GPS (pokud je dostupná) a který přepíná mezi vizuální navigací a navigací založenou na GPS.

„Návrh a realizace demonstrátoru Robotického systému pro autonomní inspekci“

V rámci řešení této činnosti byl realizován demonstrátor, pro který byla použita upravená verze robotu ER1 spolu s vyvinutým navigačním systémem, který se skládá z hardwarových a softwarových komponent. Hardwarově je systém postaven na mini-počítači Intel NUC 5I5RYK, na kterém jsou prováděny veškeré výpočty, zpracování informací ze senzorů a ze kterého je řízen ovládaný robot. Hlavním senzorem je MS Kinect 2 umožňující získávat RGBD (tedy obrazovou i hloubkovou) informaci o okolním prostředí. Softwarová část je implementována ve frameworku ROS (Robot Operating System) a jejím jádrem je algoritmus polygonální explorační neznámého prostředí vyvinutý v předchozích letech řešení. Navigační modul založený na volně dostupné knihovně RTAB-Map (Real-Time Appearance-Based Mapping) pak provádí lokalizaci robotu a vytváří finální 3D model prozkoumávaného prostředí. Řídicí systém komunikuje s uživatelem prostřednictvím uživatelského rozhraní na tabletu, které bylo rovněž vyvinuto během řešení projektu. Demonstrátor pak spočíval v provedení experimentů ve scénáři prohledávání neznámého (vnitřního i venkovního) prostředí za účelem vytvoření 3D mapy tohoto prostředí.

V roce 2015 byl klient pro ovládání robotické mise konvertován do plně multiplatformní podoby. Konverze vyžadovala změny architektury oproti původní podobě řešení, kde bylo cíleno na platformu Windows 8.1 (WinRT). Díky návrhu dle vzoru MVVM bylo možné zachovat velké části kódu v oblasti dat a jejich zpracování a vlastní logiky aplikace. Pro plnou přenositelnost bylo nutné provést abstrakci

platformních závislostí (specifických implementací hardwarových služeb a služeb zařízení – zpracování vstupních metod, GPS) a konkrétních komponent (ovládací prvek mapy, vykreslování grafiky a zobrazování dat) tak, aby bylo možné je, spolu se samotným uživatelským rozhraním aplikace, specificky implementovat až v cílovém projektu pro daný operační systém. Aby bylo možné využít maximální opakované použitelnosti zdrojového kódu, byla využita platforma Xamarin, která nabízí nativní vývoj aplikací v jazyce C# pro Apple iOS (Xamarin.iOS) a Google Android (Xamarin.Android). Díky tomu bylo možné použít nezměněné části kódu i v aplikacích pro tyto operační systémy. Pro možnost sdílení aplikační logiky (tedy komponent typu ViewModel) byl využit open source frameworku MvvmCross, který přináší do platformy Android a iOS podporu pro data-binding.

Po dokončení implementace multiplatformní knihovny započala tvorba aplikace pro systém Google Android 4 a také aktualizace existující aplikace na nejnovější verzi pro Universal Windows Platform, díky které je možné začít jedním balíčkem aplikace nejen tablety a počítače ale i veškerá jiná zařízení s operačním systémem Windows 10. Z hlediska uživatelského rozhraní bylo na obou cílových platformách přepracováno navigační menu podle designového vzoru split-view/navigation pane. Díky tomu je možné rychle přecházet mezi jednotlivými sekcemi hlavního ovládacího panelu aplikace.

Mimo zmíněné práce byla velká pozornost věnována vylepšení efektivity a robustnosti komunikace s robotickým serverem (zpracování stavových zpráv) a širší integraci autentizační služby pro správu uživatelů v robotické misi.

„Vývoj metod detekce a řešení problémů s vykonáváním plánů“

Do metody vizuální navigace byl integrován nově vyvinutý algoritmus na detekci a objíždění překážek. Tento algoritmus využívá tři laserové dálkoměry: jeden umístěný vodorovně a zbylé dva nakloněné mírně k zemi. Data z dálkoměrů jsou integrována do lokální 3D mapy okolního prostředí robotu, v které je následně hledána bezkolizní trajektorie co nejvíce odpovídající cestě navržené vizuální navigací. Tento systém byl demonstrován na veletrhu IDET odborné i laické veřejnosti a na konferenci CD&E.

V rámci této činnosti byl rovněž dokončen plánovací modul pro vzdušné prostředky s monokulární kamerou, jehož vývoj byl zahájen v předchozím období. Plánovací modul je založený na modifikacích Dijkstrova algoritmu. Během provádění plánu prohledávání sleduje schopnost lokalizace robotu a v okamžiku, kdy je tato schopnost pod určitou mezí, naviguje jej do místa, kde je robot schopný se opět bezpečně lokalizovat. Zmíněný přístup plánování byl spolu s analýzou kvality lokalizace z obrazové informace na různých površích (beton, dlažba, tráva a další) popsán v článku do časopisu Journal of Intelligent and Robotic Systems, který je v současné době v recenzním řízení.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

V roce 2015 byl naplánován milník „Embedded řešení robotického systému schopného autonomního provozu v inspekčních úlohách a realistickém prostředí“, který byl splněn realizací činností zmíněných v předchozí kapitole. Zejména bylo navrženo hardwarové a softwarové řešení pro navigaci mobilního robotu, který umožňuje provádět dohledové a průzkumné úlohy jak ve vnitřním, tak venkovním prostředí. Dále bylo dokončeno univerzální uživatelské grafické rozhraní pro řízení takovýchto misí.



Obr WP6.1. Vlevo: Roboty TAROS a ORPHEUS při experimentu vizuální navigace, vpravo: robot ER1 s funkčním vzorkem navigačního modulu prohledávající neznámé prostředí.

2b Dílčí cíle

Jediným dílčím cílem byl „Robotický systém pro autonomní inspekci“, který byl dosažen realizací funkčního souboru hardwarových a softwarových prostředků pro autonomní navigaci mobilního robotu v úloze prohledávání neznámého prostředí. Funkčnost tohoto řešení byla ověřena sadou experimentů.

2c Dílčí výstupy

Dílčím výstupem v roce 2015 byl „Robotický systém pro autonomní inspekční a dohledové mise“. Řídicí a senzorický systém pro autonomní navigaci mobilního systému (který tvoří základ funkčního vzorku popsaného v následujícím odstavci) byl instalován na upraveném robotu ER1 a byla vytvořena softwarová rozhraní pro řízení tohoto robotu. S takovou konfigurací byla provedena sada experimentů demonstrující funkčnost navrženého řešení v různých prostředích. Popis vlastního systému, video-záznam z provedených experimentů, pořízená data i výsledné 3D mapy prozkoumaného prostředí byly umístěny na stránku <http://imr.ciirc.cvut.cz/Research/EAPD>.

2d Výsledky dle kategorie RIV

V roce 2015 byl naplánován jeden výsledek typu G (technicky realizované výsledky - prototyp, funkční vzorek). Tohoto výsledku bylo dosaženo realizací funkčního vzorku řešícího autonomní navigaci mobilního robotu v úloze prohledávání neznámého prostředí a příbuzných.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Řešení pracovního balíčku probíhá standardním způsobem. V průběhu roku 2016 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 WP7 – Metody strojového vnímání pro průmyslové a jiné aplikace

1. Popis činností

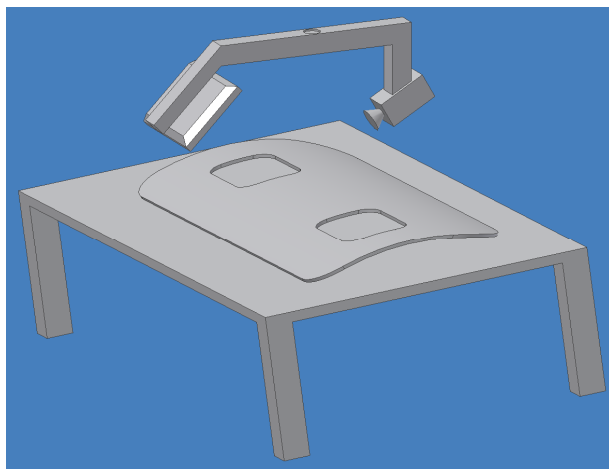
V roce 2015 jsme v rámci pracovního balíčku 7 řešili úkoly v souladu s plánem pro toto období. Dle plánu byly v jednotlivých tematických okruzích vykonávány tyto činnosti:

- Reflektometrie, vývoj prototypu a jeho nasazení v aplikacích
- 2 ruká robotická manipulace se zpětnými vazbami
- SLAM, pilotní aplikace pro průzkum neznámého prostředí pro hasičské úlohy
- Metody strukturního rozpoznávání pomocí 2D gramatik pro vstup informace na tabletech

V roce 2015 jsme se soustředili především na prototypu zařízení pro reflektometrii. Na realizaci tohoto úkolu se podílel především tým firmy Neovision s.r.o., která je hlavním průmyslovým partnerem v rámci tohoto pracovního balíčku a členem konsorcia projektu. Na univerzitních pracovištích se věnujeme především vývoji obecných metod zpracování obrazu a rozpoznávání. Stejně jako v předešlých letech i nadále vyhledáváme nové možnosti využití vyvinutých metod především v průmyslových aplikacích.

„Vývoj reflektometrického měřicího prototypu a jeho nasazení v aplikaci“

V roce 2015 probíhal v souladu s plánem vývoj a realizace prototypu měřicího zařízení pro kontrolu kvality zejména lesklých povrchů (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Při vývoji prototypu bylo využito zkušeností s dříve realizovaným a testovaným funkčním vzorkem. Některé části a prvky funkčního vzorku byly využity i v nové konstrukci. Pro prototyp byl zakoupen nový LCD monitor a nová kamera s vyšším rozlišením a citlivostí. Realizaci prototypu zajišťuje Neovision s.r.o. v úzké spolupráci s výzkumným týmem ČVUT. Funkčnost systému byla ověřena při měření součástí poskytnutých potenciálním zákazníkem.



(a)



(b)

Obr. WP7.1. Měřicí zařízení pro kontrolu povrchu: a) princip zařízení, b) realizované zařízení.

Měřicí zařízení je založeno na principu reflektometrie (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**a). Hlavními komponentami zařízení je kamera a projektor (LCD panel), které jsou umístěny ve vhodném vzájemné poloze. Povrch je kontrolován na základě sledování odrazu známého obrazce, který je promítán na kontrolovaný povrch. Technickým problémem tohoto zařízení je poměrně malý prostor, kde se může kontrolovaný povrch nacházet. Proto jsme kameru s projektorem umístili na manipulátor Mitsubishi RV-6SDL. Měřicí zařízení tak můžeme nad měřeným povrchem postupně posouvat. Pro zajištění maximální rychlosti kontroly povrchu je třeba naplánovat vhodná místa měření s ohledem na omezení měřicího zařízení. Podstatnou součástí programového vybavení jsou také algoritmy automatické detekce vad povrchu. Pro vývoj programového vybavení používáme jako základní platformu ROS (Robot Operating System).

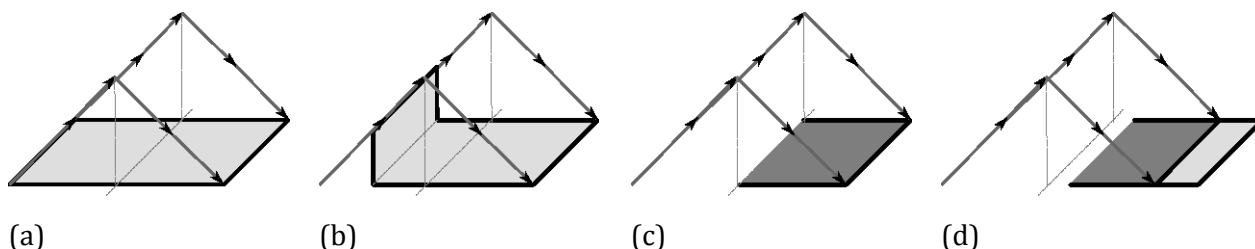
Aby bylo možné řídit manipulátor Mitsubishi z prostředí ROS, vyvinuli jsme v roce 2015 odpovídající ovladač (driver). Tento ovladač umožňuje řídit manipulátor z počítače připojeného k řídicí jednotce manipulátoru prostřednictvím lokální sítě (Ethernet). Ovladač zajišťuje komunikaci s manipulátorem na úrovni příkazů tohoto rozhraní. Při vývoji jsme vycházeli z verze ovladače připravené Ing. Kotkem ze společnosti FCC PS s.r.o. v rámci projektu RoMeSy (TA03010398). Tento ovladač byl připraven pro konkrétní manipulátor a potřeby řešení daného projektu. My jsme ovladač změnou parametrizace upravili tak, aby byl použitelný i s jinými manipulátory a doplnili jsme všechny bezpečnostní kontroly zadávaných příkazů. Dále jsme doplnili rozhraní k plánovacímu prostředí „MoveIt!“, které představuje nejpoužívanější modul pro plánování pohybů manipulátoru v ROS. Vyvinutý ovladač nám tak umožňuje plně využít manipulátor Mitsubishi pro polohování měřicího zařízení a to včetně plánování bezkolizních trajektorií pro jeho přesouvání nad měřeným povrchem. Zdrojové kódy ovladače i rozhraní pro „MoveIt!“ jsme poskytli volně v rámci komunity vývojářů ROS na adrese:

https://gitlab.ciirc.cvut.cz/mitsubishi/mitsubishi_launch/wikis/home.

„Výzkum a vývoj v kognitivní 2 ruké manipulaci se zpětnými vazbami“

V roce 2015 jsme se v oblasti dvojruké manipulace věnovali především rozvoji algoritmů pro manipulaci s měkkými materiály. Zejména se jedná o algoritmy modelování pohybu látky pro případ skládání a algoritmy plánování s uvolněním některých parametrů trajektorie. Naší snahou je najít optimální trajektorii pro přeložení látky v závislosti na parametrech skládaného materiálu a realizovat ji v co možná největším pracovním prostoru.

Základní trajektorie skládání označovaná GFold, která byla popsána Jur van den Bergem v [Berg-2010], využívá lineárních úseků. Tato trajektorie byla navržena pro nekonečně flexibilní materiál (zanedbána tuhost) na povrchu s nekonečným třením. To vede v reálném případě ke vzniku síly, která překoná sílu třecí, a zapříčiní posun skládané látky po podložce. Důsledkem je nepřesné složení, jak je znázorněno na (Obr. WP7.1). Jako alternativu jsme navrhli trajektorii, která odpovídá tuhému materiálu ohebnému pouze v místě skladu. To vede na trajektorii kruhovou, která se při experimentech ukázala jako přesnější než trajektorie původní, avšak ani ta není optimální pro všechny typy materiálů. Tyto výsledky jsme prezentovali na konferenci TAROS 2015 [Petrik2015].



Obr. WP7.1 Skládání metodou GFold: a) Počáteční stav, b) Průběh skládání, c) Požadovaný výsledek, d) Chybný výsledek, který nastal vlivem posunu látky, kdy je třecí síla menší než síly vyvolané ohýbáním relativně tuhého materiálu.

Lineární ani kruhová trajektorie nejsou optimální pro provedení skladu, ale představují dva extrémy, mezi nimiž by měla optimální trajektorie být. Koncem roku 2015 jsme proto zahájili studium statického modelu látky, který nám umožňuje navrhnout trajektorii skládání pro libovolný měkký materiál se známými parametry. Úlohu jsme formulovali jako „Boundary Value Problem“ a pomocí okrajových podmínek jsme definovali trajektorii tak, aby síla působící ve směru skládání byla minimální. Řešením úlohy je pro daný materiál jednoznačná trajektorie. První experimenty ukazují, že tato trajektorie překoná lineární i kruhovou trajektorii z hlediska přesnosti provedení skladu. Výsledky této práce budeme publikovat v roce 2016.



Obr. WP7.2 Realizace experimentu – přeložení materiálu s vyšší tuhostí (gumový pásek).

Dále jsme také pokračovali ve vývoji plánovacích algoritmů. V plánování se snažíme využít možnosti uvolnit některé parametry trajektorie (relaxace) a získat tak větší konfigurační prostor pro realizaci příslušného pohybu aniž by byl ovlivněn požadovaný výsledek manipulace (např. sklad). Relaxace parametrů jsou reprezentovány jako dodatečné klouby v kinematickém řetězci, do něhož je zařazen také manipulovaný předmět. Výsledný systém tvoří uzavřených kinematický řetězec, jehož pohyb plánujeme s využitím implementace algoritmu CUIK Suite [Porta2014]. Experimenty v simulovaném prostředí ukazují podstatné zvětšení pracovního rozsahu při procesu skládání látky.

„SLAM, vývoj pilotní aplikace pro průzkum neznámého prostředí pro hasičské úlohy“

V uplynulém období jsme pokračovali ve vývoji algoritmů SLAM a jejich implementaci na pásovém robotickém vozidle. Robotické vozidlo je primárně určeno pro využití v rámci hasičských a záchranných sborů. Cílem vývoje je autonomní pohyb vozidla v troskách budov (následky zemětřesení či požáru), kolejisti (vlakové neštěstí), venkovním prostředí s překážkami. Lokalizace a mapování probíhá především na základě údajů z laserového dálkoměru (3D). Tyto údaje jsou doplněny informací z kamery (2D), která na základě vizuální informace zpřesňuje odhady pohybu pásového vozidla. Součástí algoritmů lokalizace je také inerciální navigační jednotka. Součástí programového vybavení pásového robotického vozidla jsou také algoritmy učení a rozpoznávání jednotlivých objektů, které jsou reprezentovány například článkem [Uricar2015].

V roce 2015 bylo pásové robotické vozidlo s vyvíjeným programovým vybavením několikrát testováno v praktickém nasazení. Testování probíhalo na tréninkových plochách požárních a záchranných sborů. Jednalo se o simulované nasazení vozidla po přírodní katastrofě (zemětřesení) a to zejména v podmínkách industriální zástavby. V rámci tohoto testu byla ověřována průchodnost vozidla, spolupráce se záchrannými složkami a také spolupráce několika robotických vozidel. Testy splnili očekávání a z hlediska částečně autonomního pohybu vozidla byly úspěšné, potvrdili však přetrvávající problém spojení na větší vzdálenost v složitějším terénu.

V průběhu roku 2015 se na nás obrátil jeden zákazník s návrhem realizovat vozidlo pro převoz materiálu ve výrobních halách. Malá autonomní robotická vozidla se používají jako tahače vozíků s díly v průběhu montáže. V současnosti se tyto tahače pohybují po určených drahách, které jsou vyznačeny na podlaze a to buď barvou, magnetickou páskou, nebo vodičem zabudovaným v podlaze. Tyto metody však nejsou dostatečně flexibilní a některé vyžadují i stavební úpravy. Navrhli jsme koncept řešení založený na zpracování obrazové informace, které nevyžaduje přípravu a umožňuje snadnou změnu trasy. Takové zařízení nebylo nakonec realizováno. Vzhledem ke zkušenostem nabytým v předešlých letech, zvažujeme možnost zařadit vývoj navigačního systému tahače do úkolů projektu CAK: Vidíme v něm praktickou možnost uplatnění vyvíjených algoritmů SLAM.

„Strukturní rozpoznávání pomocí 2D gramatik“

Také v roce 2015 jsme pokračovali ve vývoji algoritmů strukturního rozpoznávání. Cílem je usnadnit vkládání rukou kreslených grafických náčrtků, vývojových diagramů a matematických vzorců do elektronických dokumentů. Cílem je vyvinout algoritmy umožňující rozpoznat jednotlivé prvky náčrtky přímo při kreslení nebo bezprostředně po něm. Jednotlivé rozpoznané prvky je pak možné již ukládat či zpracovávat ve zjednodušené formě. Příkladem může být provádění výpočtů na základě v obvyklé grafické formě rukou zapsaných matematických vzorců. Důležitou součástí nejrůznějších diagramů jsou šipky, které jsou díky své variabilitě jen těžko detekovatelné. Proto jsme se věnovali v uplynulém období právě jejich detekci. Navrhli jsme algoritmus, který detekuje šipky až v návaznosti na detekci jiných objektů, které obvykle šipky spojují. Provedená detekce objektů nám umožní zaměřit se právě na jejich spojnice. Algoritmus jsme dále doplnili o detekci vrcholu šipky na základě její relativní pozice a to s pomocí neuronové sítě (LSTM). Tento algoritmus jsme prezentovali na konferenci *WACV 2015* [Bresler2015]. Algoritmus detekce šipek doplňuje již v předešlém roce prezentovaný celkový postup detekce a rozpoznání diagramů.

Reference:

[Berg2010] Jur van den Berg, Stephen Miller, Kenneth Y. Goldberg, and Pieter Abbeel. Gravity-based robotic cloth folding. In David Hsu, Volkan Isler, Jean-Claude Latombe, and Ming C. Lin, editors, *WAFR, volume 68 of Springer Tracts in Advanced Robotics*, pages 409–424. Springer, 2010.

[Bresler2015] Martin Bresler, Daniel Průša, and Václav Hlaváč. Detection of arrows in on-line sketched diagrams using relative stroke positioning. In *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision WACV 2015*, pages 610–617, Los Alamitos, USA, January 2015. IEEE Computer Society.

[Petrik2015] Vladimír Petrík, Vladimír Smutný, Pavel Krsek, and Václav Hlaváč. Robotic garment folding: Precision improvement and workspace enlargement. In Clare Dixon and Karl Tuyls, editors, *Towards Autonomous Robotic Systems - 16th Annual Conference, TAROS 2015*, volume 9287 of LNCS, pages 204–215, New York, USA, 2015. Springer.

[Porta2014] J. Porta, L. Ros, O. Bohigas, M. Manubens, C. Rosales, and L. Jaillet. The CUIK Suite: Analyzing the Motion Closed-Chain Multibody Systems. *Robotics & Automation Magazine*, IEEE, 21(3):105–114, 2014.

[Uricar2015] Michal Uříčar, Vojtěch Franc, Diego Thomas, Sugimoto Akihiro, and Václav Hlaváč. Real-time Multi-view Facial Landmark Detector Learned by the Structured Output SVM. In Bhanu Bir, Hadid Ab-denour, Ji Qiang, Nixon Mark, and Struc Vitomir, editors, *BWILD'15: 11th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition Workshops, Biometrics in the Wild*, page 8, New York, USA, 2015. IEEE Computer Society.

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

Ve sledovaném období bylo plánováno dosažení milníku, dvou dílčích cílů, dvou dílčích výstupů a výsledků. Všechny plánované úkoly pracovního balíčky byly splněny.

2a Milníky

Pro rok 2015 byl naplánován jeden milník – „Využití technologií strojového vnímání ve společné lokalizaci a mapování“, které zkoumáme v evropském projektu NIFTi zaměřeném na záchrannou robotiku. Projekt nám poskytl pokročilý pásový mobilní robot bohatě vybavený senzory (především 3D laserový měřič vzdálenosti a všesměrovou kameru) a zavedl nás do oblasti záchranné robotiky. Tyto znalosti převedeme na aplikační projekty v průmyslu a jinde. Tento milník a aktivita dává prostor pro spolupráci s dalšími pracovními balíčky, především balíčky 4 a 6 tohoto návrhu. Nabyté znalosti budou předávány spolupracujícím firmám Camea s.r.o. a Neovision s.r.o., a tak je půjde snadno zkontrolovat.

Milník byl splněn. Průběžně probíhá vývoj technologií v oblasti SLAM (souběžná lokalizace a mapování). Spolupráce s průmyslovými partnery a hledání nových možností v této oblasti vyústila v definování možné aplikace při manipulaci a převozu materiálů ve výrobních halách, Tuto aplikaci se pokusím dále realizovat. Byly vyvinuty nové algoritmy v oblasti strukturního rozpoznávání, ale zatím nebyly využity přímo v uživatelské aplikaci. Metody rozpoznávání jsou však součástí dalších aplikací. Spolupráce s průmyslovými partnery probíhá zejména na konkrétních aplikacích jako je systém měření povrchů (reflektometrie).

2b Dílčí cíle

Dílčí cíle byly vesměs splněny.

„SLAM, pilotní aplikace“

Algoritmy SLAM (souběžná lokalizace a mapování) byly implementovány na robotickém pásovém vozidle (robot), které je vyvíjeno v rámci projektu TRADR (EU FP7). Algoritmy byly tak spolu s robotem testovány v simulovaném nasazení v industriálním prostředí i městské zástavbě. Scénáře testů jsou založeny na průzkumu neznámého prostředí po přírodní katastrofě (zemětřesení), nebo průmyslové nehodě. Cílem je zmapovat prostředí, nalézt osoby a lokalizovat některé objekty (například automobily). Byla tak ověřena spolupráce robotu se záchrannými sbory při praktickém nasazení.

„Reflektometrický prototyp a jeho praktické nasazení“

Na základě zkušeností s realizací a testováním funkčního vzorku, byl vyvinut a fyzicky realizován prototyp měřicího zařízení. Prototyp sestává z kamery a projektoru ve vzájemně pevné poloze. Kamera s projektorem je umístěna na manipulátoru, který zařízením pohybuje nad měřeným povrchem. Programové vybavení zajišťuje detekci vad kontrolovaného povrchu i plánování pohybu manipulátoru, aby byla kontrola co možná nejefektivnější. Funkčnost prototypu byla ověřena při měření dílů, která nám zapůjčili cíloví zákazníci tohoto zařízení. Testy ukázaly, že detekce vad probíhá v souladu s požadavky uživatelů na kontrolované díly.

2c Dílčí výstupy

Byl dosažen dílčí výstup „Demostrace pilotní aplikace SLAM“.

Vyvíjené algoritmy SLAM (současné mapování a lokalizace) implementujeme na robotické pásové vozidlo (robot). V roce 2015 proběhlo testování robotu v industriálním prostředí i městské zástavbě. Testování probíhalo na tréninkových plochách požárních a záchranných sborů. Scénáře testů jsou založeny na průzkumu neznámého prostředí po přírodní katastrofě (zemětřesení), nebo průmyslové nehodě. Cílem je zmapovat prostředí, nalézt osoby a lokalizovat některé objekty (například automobily). Testy prokázaly funkčnost vyvíjených algoritmů SLAM, které byly použity pro mapování a navigaci vzdáleně řízeného robotu.

Rovněž bylo dosaženo dílčího výstupu „Demonstrace reflektometrického prototypu v praktickém nasazení“.

Byl realizován prototyp měřicího zařízení pro kontrolu lesklých povrchů metodou reflektometrie. Funkčnost prototypu měřicího zařízení byla ověřena na skutečných dílech karosérie, které zapůjčili potenciální uživatelé tohoto zařízení. Provedené experimenty ověřily, že kvalita kontroly povrchu vyhovuje požadavkům cílových uživatelů.

2d Výsledky dle kategorie RIV

V roce 2015 byl dokončen prototyp měřicího zařízení pro kontrolu lesklých povrchů. Tento prototyp bude zaslán do RIV, jako výsledek typu F. Současně byl vyvinut ovladač pro manipulátor Mitsubishi v prostředí ROS. Tento ovladač plánujeme zařadit do RIV jako výsledek typu R. V tomto roce byly také některé z vyvíjených algoritmů a metod prezentovány formou 3 příspěvků na vědeckých konferencích [Bresler2015, Petrik2015, Uricar2015]. Tyto příspěvky budou také zařazeny do databáze RIV.

3. Očekávaný průběh řešení projektu

Na základě popsaného postupu řešení a s ohledem na plán činnosti v roce 2015 můžeme konstatovat, že řešení projektu probíhá v souladu s plánem. V roce 2015 bylo dosaženo plánovaných výsledků i plánem stanovených dílčích cílů. V rámci řešení úkolů pracovního balíčku 7 se rozvíjí také spolupráce se společností Neovision s.r.o., která je klíčovým průmyslovým partnerem v rámci tohoto pracovního balíčku. Rozvíjí se také spolupráce s dalšími vývojovými týmy, které řeší příbuzné úkoly (například pracovní balíček WP6).

V roce 2016 budeme pokračovat ve výzkumu a vývoji v souladu s aktualizovaným plánem, který byl součástí schváleného návrhu pokračování projektu. Nadále budeme vyvíjet algoritmy detekce vad pro reflektometrickou kontrolu povrchů i algoritmy SLAM s výhledem na aplikace průmyslovou aplikaci. Nově zahájíme vývoj metod pro detekci vad lisovaných plastových dílů. Pokračovat bude také vývoj algoritmů dvojruké manipulace. Předpokládáme, že i nadále bude pokračovat úzká spolupráce týmu ČVUT a Neovision s.r.o., který zůstává naším průmyslovým partnerem.

Pracovní balíček WP8 – Kamerová zařízení a metody analýzy obrazu pro monitorování dopravy a v průmyslu

1. Popis činností

V pracovním balíčku jsme v roce 2015 kontinuálně pokračovali ve výzkumu a vývoji dopravních i průmyslových systémů, příslušného hardware a software, zejména v získávání obrazových dat testovacími jízdami a modifikace technik pořízení a zpracování obrazu.

V oblasti dopravních systémů bylo výrazně pokročeno ve sběru obrazových dat v asistenčním systému řidiče a jejich následné automatizované analýzy pomocí metod zpracování obrazu a rozpoznávání (návrh i realizace experimentů na VUT), dále pokračovaly také inovace v dopravních projektech soustředěných u partnera Camea, zejména projekty měření dojezdových dob (Travel time), telematických dopravních systémů a systému vážení za jízdy (WIM), které mj. získalo hodnotnou certifikaci.

V oblasti průmyslových inspekčních systémů byly kromě vývoje algoritmů a konceptů automatizovaného zpracování obrazové informace provedeny konkrétní realizační práce např. na rozšíření systému pro detekci vad v nekonečných kontinuálních páslech s řádkovými kamerami a tvorba třídících vizuálních systémů pro logistická centra (DHL, Tesco).

Co se týká podpůrného hardware nutného pro praktickou realizaci objemově velmi náročných úloh dopravních i průmyslových kamerových systémů, byl v roce 2015 vytvořen mj. funkční vzorek modulu vysokorychlostní kamery s rozlišením 4K a snímkovou frekvencí 300Hz. Jako přenosové medium byl zvolen 10Gbit optický Ethernet, který zajišťuje kontinuální přenos získaných dat z kamery do nadřazeného počítače. Modul kamery je připraven pro online zpracování a vyhodnocení obrazových dat při plné snímkové frekvenci.

Z oblasti výzkumu teoretického backgroundu stojí za zmínku také rozbor řešitelnosti úlohy SLAM mapující interiér budov pomocí zpracování obrazových dat ze samostatné volně pohybující se kamery, navazující realizace experimentu pro ověření aplikovatelnosti navržené teorie a funkčnosti doposud implementovaných metod zejména pro fúzi obrazových a prostorových dat. Podstatnou částí s vysokým aplikačním potenciálem byl/je výzkum možnosti detekce a optimalizace jednoduchých regresních modelů v datech popisujících rekonstruovaný prostor za účelem zlepšení poměru množství dat vůči množství nesené informace a z toho vyplývající zvýšení přesnosti rekonstrukce snímaného prostoru.

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Milník pracovního balíčku „Rozvinuté technologie kamerových systémů“ byl dosažen v souladu s plánem.

Milník byl definován a následně i splněn jako série několika praktických realizací vizuálních systémů v průmyslu a dopravě. Tyto realizace popř. experimenty či další podpůrná měření byly podepřeny původním výzkumem a rozvojem znalostí v oblasti metod zpracování obrazu (pořízení obrazu,

segmentace, rozpoznávání popř. klasifikace), hardwarového zpracování vysokého objemu dat prvky FPGA/DSP a podobné. Adresně lze do milníku zahrnout vývoj a následný technický rozvoj průmyslových systémů pro detekci vad na netkaných textiliích využívajících rychlé liniové kamery pro průmyslové použití, dále třídící systémy logistických center, dopravní asistenční systém řidiče pro monitorování jeho stavu během jízdy a detekci jiných podpůrných vnitřních i vnějších ukazatelů zvyšujících bezpečnost dopravy např. vážení za jízdy.

2b Dílčí cíle

Ve sledovaném roce byl plánován dílčí cíl „Zkoušky dopravních zařízení a průmyslových inspekčních systémů“.

Cíle bylo postupně dosaženo průběžným plněním dílčích činností. Byla provedena řada experimentálních měření zejména v aplikaci asistenčního systému řidiče, kde bylo několikrát modifikováno jádro software pro pořízení obrazových dat tak, aby byla zajištěna spolehlivost a přesnost detekce stavu řidiče v rychle a silně se měnících světelných podmínkách. Obdobně byly přímo v provozu provedeny zkoušky spolehlivosti metod navržených pro rychlé a přesné měření rozměrů a tvaru výrobku na průmyslových linkách (Pegas Nonwovens a jiné). Testování podpůrného hardware (vysokorychlostní 4K kamera) bylo provedeno simulací datového trafficu odpovídajícímu předpokládanému reálnému zatížení.

2c Dílčí výstupy

Deklarovaným dílčím výstupem bylo v roce 2015 „Zařízení pro asistenci v dopravních úlohách a pro průmyslovou inspekci“. Koncept zařízení v dopravě byl vyvíjen od začátku projektu, bylo vyzkoušeno hned několik možností hardwarové platformy pro sběr dopravních dat ve vozidle – výčtem lze zmínit autonomní výpočetní jednotku s připojenou průmyslovou kamerou (3 různé verze rozhraní), mobilní platformu na bázi action-cam, konkrétně Contour HD a autokameru Evolveo XtraCam. Součástí výstupu je algoritmické zpracování obrazových dat, které kromě dalšího využívalo vlastní knihovnu ImProc generických metod navrženou a využitou také v průmyslových úlohách. Dílčí výstup jako soubor zařízení a softwarového vybavení tvoří také dva deklarované RIV výsledky souhrnně nazvané Verifikační platforma asistenčního vizuálního systému v dopravě, jde o jeden výsledek RIV-G a jeden RIV-R.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Verifikační platforma asistenčního vizuálního systému v dopravě: výsledek typu RIV-G (funkční vzorek) je tvořen mobilním zařízením pro pořízení a zpracování obrazu na bázi průmyslových kamer (Allied Vision Technologies s rozhraním GigE). Výsledek je součástí širší skupiny výsledků pro sběr a zpracování dat v dopravních úlohách za účelem zvýšení bezpečnosti automobilové dopravy, zejména pak softwarového vybavení pro autonomní zpracování obrazové informace pomocí knihovny ImProc, která je druhým výsledkem pracovního balíčku kategorie RIV-R ve sledovaném období.

3. Očekávaný průběh řešení projektu

V nadcházejícím čtyřletém období se končící pracovní balíček WP8 překlápí do obsahově navazujícího balíčku WP19 se stejným názvem. Obecně se předpokládá využití nové generace průmyslových popř. tzv. inteligentních kamer a jejich zavedení do řešení dopravních a průmyslových úloh, v nichž bude

T A

Č R

kauzálně zvýšena bezpečnost, přesnost a robustnost vyhodnocení pořízených dat (jde o nikdy nekončící inspekční proces). Kvalitativní skok v řešení náročných úloh počítačového vidění v dopravě a průmyslu bude podepřen úspěšným vývojem specializovaného hardware (vysokorychlostní kamera, zvládnutí přenosů na 10 Gbit) a vlastní knihovny zaměřené na úzkou skupinu úloh (implementace redefinovaných metod zpracování obrazu pro konkrétní aplikaci na jednoúčelovém popř. jen specializovaném hardwaru a využití řady optimalizačních strategií pro zajištění zpracování vysokého objemu dat v reálném čase).

Pracovní balíček WP9 – Expertní systém pro projektování RFID aplikací

1. Popis činností

Během roku byly prováděny tyto činnosti:

Prototyp Internetového portálu, plnění primárních dat do databáze referenčních řešení.

Finální verze aplikace RFID Expert s internetovým portálem a jeho testování a optimalizace.

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

- Implementace praktických poznatků fy. GABEN do struktury inteligentní databáze a vyhledávacích algoritmů databáze čipů, inlayů a projektů (inovace předchozích výsledků projektu)
- Do března 2015 pokračovaly práce na prototypu portálu rfidexpert.vsb.cz a v další části roku pak na implementaci finální verze portálu. Kromě finalizace jeho jednotlivých částí (přehledy čipů, inlayů, výběr s pomocí experta, expertní výběr vhodného referenčního projektu, analytické nástroje, teorii, dotazník a administrační sekce) probíhaly práce na vytvoření anglické verze portálu a v jejich průběhu i jazyková korektura české verze.
- Bylo provedeno testování srozumitelnosti uživatelského rozhraní laickými, tj. uživateli pouze povrchně seznámenými s možnostmi RFID technologie. Zde šlo především o otestování formy a logiky uživatelského rozhraní pro hledání vhodných vzorů referenčních projektů uložených v databázi RFID Expert.
- V průběhu roku 2015 byla do portálu implementována obsáhlá nápověda a slovník pojmů.
- Databáze tagů a referenčních řešení byla v průběhu roku aktualizována vkládáním dalších dat. K dnešnímu datu obsahuje databáze tagů 47 čipů a 187 inlayů. V databázi referenčních projektů je pak v současné době uloženo 118 projektů.
- V průběhu prvního kvartálu bylo dokončeno administrační rozhraní projektu umožňující editovat veškeré produkty i projekty a jejich vlastnosti či vazby. Je možné i přidávat přílohy – soubory k jednotlivým produktům nebo projektům. Rozhraní umožňuje libovolně přidávat štítky a napomáhá tak k přehlednějšímu filtrování produktů pomocí expertního systému.
- S ohledem na určitou problematičnost získání relevantních údajů o skutečných vlastnostech aktivních RTLS tagů, umožňujících lokalizovat tag pomocí wifi signálu, bylo provedeno testování parametrů RFID senzorů v reálném prostoru urgentního centra FNO. Ukázalo se, že při nevhodném rozmístění AP síťových snímačů, které nelze z provozních důvodů přestavovat, je řešením použití doplňkových IR snímačů typu Beacon. I tato skutečnost potvrdila naše předchozí rozhodnutí o nemožnosti zařazení aktivních RTLS tagů do databáze tagů a pouze ponechání přehledů projektů v databázi řešení.
- Nově byla během roku dokončena implementace expertního znalostního systému pro výběr vhodného referenčního projektu uživatelem. Při hledání vhodných řešení je uživatel naváděn tak, aby jeho odpovědi eliminovaly z následných možností varianty, které byly expertně vyloučeny na základě odpovědí na předcházející otázky.

- Protože systém počítá s širokým spektrem uživatelů, pokud jde o jejich informovanost týkající se příslušné technologie, nově aplikace nabízí méně zdatným edukační texty vysvětlující některé pojmy.
- Implementace praktických poznatků do návrhu struktury systému RFID EXPERT a vyhledávacích/analytických algoritmů
- Zaevidovány výsledky typu software (044/14-12-2015_SW) a poloprovoz (007/14-12-2015_Po) a v současné chvíli probíhá zadávání do RIV.

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

- Korespondenční i osobní jednání s výrobcí RFID tagů (Avery Denison, Impinj, Alien), návštěva veletrhů a odborných setkání výrobců a distributorů RFID
- Korespondenční i osobní jednání s implementátory RFID řešení (KODYS, SICK, COMBITRADING, SIEMENS a další).
- Pasivní i aktivní účast na konferencích a přednáškách implementátorů RFID technologie pro získání informací o úspěšných i neúspěšných projektech
- Implementace praktických poznatků do struktury inteligentní databáze a vyhledávacích algoritmů databázi tagů (inovace předchozích výsledků projektu)
- Návrh podkladů pro vývoj univerzálního měřicího 3D modelu pro praktické proměření síly a kvality RFID signálu v reálním prostředí na základě údajů z databáze RFID EXPERT
- Implementace struktury databáze RFID EXPERT do návrhu algoritmu měřicího 3D modelu pro validaci katalogových údajů
- Úpravy databázové struktury prototypu RFID EXPERT pro potřeby expertního vyhledávání
- Implementace praktických poznatků do návrhu struktury systému RFID EXPERT a vyhledávacích/analytických algoritmů
- Návrh XML souboru pro automatické plnění databáze RFID EXPERT, zatím bez využití třetími stranami.
- Kontinuální vývoj konfiguratoru SMARTLABEL jako navazující krok po využití inteligentní databáze
- Kontinuální vývoj funkčního vzorku RFID tagu s napájením v pásmu 802.11n
- Kontinuální vývoj nástroje pro generování EPC kódu a návrh jeho implementace do strukturu RFID EXPERT – bude využito při změnách norem EPC v souvislosti s větší pamětí používaných tagů (aktuálně 96, v budoucnu 128/256/512/1024 bit)
- Pokračující analýza a spolupráce na přípravě norem VDO ve spolupráci s koncernem VW pro potřeby inteligentní databáze a expertního systému.
- Ukončení plnění dat do databáze referenčních řešení a zajištění kontinuity plnění po ukončení milníku
- Testování chování expertního systému a jeho optimalizace
- Úpravy grafického rozhraní prototypu a finálního provedení RFID EXPERT
- Jednání s firmami a organizacemi o využití výsledků projektu
- Popularizace výsledků projektu

- Aktualizace a příprava pokračování projektu CAK v balíčku WP20, jednání s koncovými uživateli, příprava scénářů a pracovního týmu.

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Milník pracovního balíčku „Internetový portál RFID Expert“ byl dosažen v souladu s plánem.

Výsledky milníku byly bezesbýtku naplněny. Výstupem je kompletní funkční systém, který svým uživatelům poskytuje nástroje pro nalezení optimálního řešení systémů využívajících RFID technologie a odpovídající specifikaci příslušného dílčího cíle.

Výsledky milníku byly v praxi ověřeny a smluvně budou reálně používány při školení nových i stávajících uživatelů systému GS1 při pravidelných školeních na akademii GS1 Česká republika. Výsledky milníku byly reálně využity při několika konkrétních projektech návrhu RFID systému jak firmou GABEN, tak koncovými zákazníky.

Toto praktické ověření ukázalo na potřebnost a smysluplnost projektu a jeho naplnění.

2b Dílčí cíle

Ve sledovaném roce byly plánovány dva dílčí cíle; oba byly splněny.

Internetový portál RFID Expert

Při práci na tomto dílčím cíli byla zoptimalizována a částečně naplněna databáze referenčních řešení, která uživatelům nabízí při řešení jejich aplikačních scénářů již vzniklá referenční řešení pro usnadnění a zrychlení vlastního řešení. Bylo prováděno testování interní i externí. Rozsah prací a termín odpovídal zadání a vyústil v úspěšné přeměně prototypu ve funkční finální řešení.

Internetový portál RFID Expert – prototyp

Práce na tomto cíli byly finální v rámci celého balíčku WP 9 a zároveň příprava na realizaci balíčku WP 20. V souladu s původním očekáváním je celý systém tvořen těmito základními částmi:

- inteligentní databázi RFID/RTLS tagů,
- expertní systém pro vyhledání optimálního inlaye a čipu,
- inteligentní databázi referenčních řešení,
- expertním systémem pro vytváření vyhledávacích dotazů,
- analytickými nástroji pro rozklad projektovaného systému na dílčí aktivity,
- analytické nástroje - kalkulátory celkové bilance, ztráty volným prostorem (FSL) a teoretického dosahu tagu
- vizuálním rozhraním pro interakci s uživatelem a pomocným administračním subsystémem.
- RFID smart label konfigurátor
- Teoretický obsah a slovník pojmů
- Grafické uživatelské prostředí a administrační rozhraní

Kromě toho byly do aplikace implementovány funkce pro výpočty několika technických parametrů prostupu signálu a konfigurátor nejčastěji používaných typů provedených RFID tagů.

Přístupový portál je připraven pro koncové uživatele, kteří k němu přistupují prostřednictvím vizuálního rozhraní. Uživatelé mají přístup k databázi stovek referenčních řešení.

Tento dílčí cíl představuje druhý a tedy konečný milník balíčku RFID Expert, výsledkem je funkční aplikace pro návrh optimálních řešení systémů využívající RFID technologie dostupná pro veřejnost. Výsledek je dostupný na internetové adrese <http://rfidexpert.vsb.cz>.

2c Dílčí výstupy

Byly dosaženy dva dílčí výstupy

Prototyp internetového portálu RFID Expert

Tento dílčí výstup představuje prototyp (beta verzi) cílového výstupu pracovního balíčku, obsahující jednotlivé analytické nástroje. Byl navržen tak, aby umožnil v závěrečné fázi řešení on-line cílového testování a implementace. V této fázi již byla aplikace RFID Expert plně nasazena a provozována na vlastním serveru s operačním systémem Linux, webovým serverem Apache a databázovým enginem MySQL.

Při práci na tomto dílčím výstupu byla zoptimalizována a naplněna databáze referenčních řešení, která uživatelům nabízí při řešení jejich aplikačních scénářů již vzniklá referenční řešení pro usnadnění a zrychlení vlastního řešení. Bylo prováděno testování interní i externí. Rozsah prací a termín řešení odpovídal zadání a následně vyústil v úspěšné přeměně prototypu ve funkční finální řešení

Internetový portál RFID Expert - cílová verze

Tento výstup představuje konečný výsledek balíčku WP9. Jde o systém, který je v souladu se zadáním tvořen těmito částmi:

- Expertní databáze RFID čipů, inlayů a jejich parametrů
- Expertní databáze referenčních projektů
- Analytické nástroje-kalkulátory celkové bilance, ztráty volným prostorem (FSL) a dosahu tagu
- Expertní systém pro vyhledání optimálního inlaye a čipu
- Expertní systém pro vyhledání optimálního referenčního projektu
- RFID smart label konfigurátor
- Teoretický obsah a slovník pojmů
- Grafické uživatelské prostředí a administrační rozhraní

Výstup je dostupný koncovým uživatelům prostřednictvím vizuálního rozhraní a zprostředkuje informace z databáze stovek referenčních řešení využitelné pro návrh optimálních řešení systémů využívajících RFID. Je dostupný veřejně na rfidexpert.vsb.cz.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Byly evidovány výsledky typu software (044/14-12-2015_SW) a poloprovoz (007/14-12-2015_Po) a v současné chvíli probíhá zadávání do RIV.

3. Očekávaný průběh řešení projektu

Souhrn a výhled:

Práce pro rok 2015 byly naplánovány jako finalizační v pracovním balíčku WP9.

Tomu odpovídala i realita, kdy na počátku roku probíhaly zejména technické práce. Hlavní náplní řešitele VŠB v této etapě byly technické úpravy portálové aplikace, řešitel GABEN pak měl na starost zejména získání relevantních dat o projektech implementace RFID, které byly do databáze průběžně vkládány.

Ve druhé polovině roku probíhaly práce dokončovací a dokumentační. Hlavní náplní VŠB-TUO byly práce na vizuálním vzhledu aplikace a formální dokončení projektu, GABEN pak řešil komercializaci řešení a její praktické využití.

Výsledek projektu byl oficiálně veřejnosti představen v polovině prosince na mezinárodní konferenci AutoID. Kontinuální využívání výsledků projektu i po jeho ukončení je zajištěno skrze smluvní dohodu s organizací GS1, kdy systém RFID EXPERT bude reálně používán při školení nových i stávajících uživatelů systému GS1 na jejich akademii. Výsledky milníku byly reálně využity při několika konkrétních projektech návrhu RFID systému jak firmou GABEN, tak koncovými zákazníky.

Práce probíhaly v souladu s plánovaným harmonogramem. Byla naplněna věcná i finanční část balíčku.

Dosavadní přínosy:

Přínosy pro uživatele systému RFID EXPERT je možné reálně vidět v úspoře následných vyžádaných nákladů, které vznikají při implementaci RFID technologií. Při kalkulaci stávajících instalací je počítáno s 50% podílem instalačních víceprací, které vznikají laděním a úpravami instalovaných řešení na místě. Jedná ze zejména o ladění výkonu, odstraňování přeslechů a rušení, polarizace antén, optimalizace kabeláže a konstrukce RFID tagu a jeho umístění na identifikovaném předmětu. U běžné instalace RFID technologie v logistickém procesu se jedná o částky ve výši 100-200 000Kč. Tyto zbytečné vícepráce je možné minimalizovat díky zkušenostem, obsaženým v systému RFID EXPERT. Primárním přínosem v této oblasti tedy bude snížení nákladů na instalaci RFID řešení, sekundárním efektem bude vyšší počet instalací, protože řešení budou rentabilní pro větší okruh zákazníků.

Přínosy pro společnost GABEN jsou reálně viditelné v rychlejším a kvalitnějším vyřizování požadavků zákazníků z oblasti RFID. Odkazem na aplikaci RFID EXPERT je možná část potřebné kapacity přenést na zákazníka, který je schopen lépe formulovat své požadavky. Tato skutečnost se pozitivně se projevuje v tržbách, které se v oblasti RFID zvýšily oproti počátku projektu několikanásobně.

Díky aplikaci RFID EXPERT, která byla zákazníků předvedena, byly firmou GABEN získány zakázky v hodnotě 700 000EUR u společností Slovenská pošta a ZOOT. Obě se týkají využití RFID pro sledování přepravních jednotek v logistickém řetězci.

Rizika:

I po ukončení prací na balíčku zůstává hlavním rizikem 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 je minimalizováno intenzivnější spoluprací s organizacemi vytvářejícími standardy (GS1, RFID RAIN apod.) Dalším možným rizikem je velmi nízká odborná úroveň uživatelů řešení, kteří nechápou základní terminologii a fyzikální podstatu bezdrátové identifikace, přesto přijímají v této oblasti nevratná rozhodnutí. Toto riziko je minimalizováno rozdělením všech činností do dvou úrovní podle odborné úrovně uživatele.

Nové skutečnosti:

Díky tomuto projektu byla sjednocena komunita osob a subjektů, které se věnují technologii RFID. Podařilo se minimalizovat mýty a falešné informace o této technologii a přispět tak k jejímu reálnému rozmachu. Ukončení projektu v roce 2015 je načasováno do doby, kdy ekonomika roste a moderní technologie se opět dostávají do popředí investičních záměrů firem. Potřebnost a aktuálnost projektu ukázala strategie většiny evropských vlád, které myšlenku chytrého průmyslu INDUSTRY 4.0 pokládají za hlavní myšlenku budoucího rozvoje evropského průmyslu. RFID technologie je základním kamenem této koncepce a aplikace RFID EXPERT je vhodným nástrojem na realizaci myšlenek v praxi.

Pracovní balíček WP10 – Nástroje pro optimalizaci výrobních a lidských zdrojů

V rámci pracovního balíčku probíhá současně výzkum ve dvou příbuzných oblastech – optimalizace výroby a rozvrhování lidských zdrojů. V obou částech navazovaly činnosti v letošním roce na výzkum realizovaný v předchozím roce.

1. Popis činností

„Tvorba GUI pro rozvrhování směn zaměstnanců“

V rámci této činnosti bylo realizováno grafické uživatelské rozhraní (GUI) pro rozvrhování směn zaměstnanců. Proběhlo několik revizí návrhů GUI, jejichž smyslem bylo zaručit použitelnost, zvýšit komfortnost a rychlost vykreslování ve webovém prohlížeči.

„Implementace systému pro rozvrhování výroby“

V rámci této činnosti byl dokončen nástroj pro optimalizaci sériové výroby a dále navržen a realizován nástroj pro optimalizaci zakázkové výroby. Oba nástroje byly koncipovány jako webové aplikace běžící na kryptovaném protokolu, je tedy možné do nich bezpečně přistupovat z jakéhokoli místa s připojením k internetu.

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Plánovány dva milníky, oba splněny.

„Rozvrhování směn zaměstnanců - druhá verze nástroje testovaná uživateli“

Bylo dokončeno GUI pro nástroj na rozvrhování lidských zdrojů. Při dokončení GUI byl dbán ohled hlavně na jeho přehlednost a jednoduchost, která zvyšuje komfort při používání uživateli, kterými mohou být vedoucí oddělení, účetní, apod. Nástroj byl testován firmou Merica, a to jak z pohledu GUI, tak z pohledu korektní funkčnosti a v neposlední řadě i z pohledu výkonnosti a robustnosti optimalizačního algoritmu použitého pro tvorbu rozvrhu. To bylo zaručeno testováním na benchmarkových instancích kombinatorického problému přiřazování směn zaměstnancům.

„Rozvrhování výroby - druhá verze nástroje testovaná uživateli“

V rámci tohoto milníku byl naimplementován nástroj pro simulaci výrobních linek. Pomocí tohoto nástroje je možné zkoumat chování linky na základě různých parametrů, jakými jsou např. rychlost výrobních strojů a dopravníků, délka dopravníků a střední doba poruchovosti strojů. Díky tomu je pak možné navrhnout vhodné parametry výrobní linky, aby byla maximalizována propustnost a eliminována slabá místa.

Simulační nástroj byl testován na výrobní lince partnerské společnosti P&G. Operace uvažované na této lince jsou: Unscrambler, Filler, Labeler, Case Packer a Case Filler. Byly provedeny dvě sady testů, jedna zkoumala vliv délky dopravníků na propustnost výroby. Bylo zjištěno, že v případě delších dopravníků

se propustnost zvýší, nicméně přírůstek propustnosti klesá se zvyšující se délkou dopravníku. Druhá sada testů zkoumala vliv rychlosti strojů na propustnost výroby. Z empirických měření bylo zjištěno, že chybovost linky se zvyšuje se zvyšující se rychlostí, což vedlo k výsledkům, kdy navyšováním rychlosti strojů se sice zvyšovala rychlost linky, ale pouze do určité meze. Pak se propustnost linky rapidně snížila, neboť vlivem poruchovosti stroje byly delší dobu v poruchovém stavu.

2b Dílčí cíle

Plánovány dva dílčí cíle, oba splněny.

„Vytvořit nástroj pro optimalizaci výroby“

Úspěšně se nám podařilo naimplementovat nástroj pro simulaci výrobních linek. Simulační nástroj byl implementován v jazyce C# jako knihovna. Vstupem nástroje je popis výrobní linky (propojení strojů, parametry) a výstupem pak textová a grafická analýza simulace. Simulační nástroj je založen na formalismu Petriho sítí. Nad touto simulační knihovnou je postavena webová aplikace dostupná z internetového prohlížeče.

„Vytvořit nástroj pro rozvrhování lidských zdrojů“

V nástroji pro rozvrhování lidských zdrojů bylo dokončeno a doladěno GUI a optimalizační algoritmus. Testování přehlednosti a jednoduchosti GUI výrazně napomohlo zvýšit komfort uživatelů tohoto nástroje. Optimalizační algoritmus byl zobecněn a nakonfigurován tak, aby byl schopen se dynamicky přizpůsobit řešené instanci rozvrhovacího problému. Nástroj byl rozšířen o funkčnosti potřebné pro další typy uživatelů. Obecně je možné využívat nástroj uživateli jako je rozvrhář zodpovědný za přípravu rozvrhu, zaměstnanec s přístupem do rozvrhu pro čtení a právem zadávat své požadavky na volno, vedoucí oddělení zodpovědný za schvalování dovolených a v neposlední řadě účetní zodpovědná za zpracování evidence pracovní doby.

2c Dílčí výstupy

Plánovány dva dílčí výstupy, oba splněny.

„Nástroj pro optimalizaci výroby“

Byl implementován nástroj pro optimalizaci výroby a provedeno jeho testování. Nástroj má podobu simulačního frameworku, ve kterém je možné zkoumat chování výrobní linky na základě různých parametrů. Takovou analýzu lze pak použít pro volbu parametrů optimalizujících zvolená kritéria, jakými jsou např. poruchovost nebo propustnost linky. Vzhledem k použití formalismu Petriho sítí k modelování výrobní linky je náš nástroj flexibilní a je v něm možné popsat různé typy výrobních linek. Nástroj byl testován na výrobní lince partnerské společnosti P&G. Detaily lze nalézt v příloze balíčku 10.

„Nástroj pro rozvrhování lidských zdrojů“

Nástroj byl navržen jako webová aplikace, do které se uživatel musí autorizovat a komunikace probíhá šifrovaně. Uživatel nástroje díky webovým technologiím může pracovat bezpečně z libovolného zařízení s připojením k internetu s webovým prohlížečem s podporou JavaScriptu (např. stolní počítač, tablet). Systém byl koncipován pro několik typů uživatelů, jejichž činnosti souvisí s rozvrhováním směn zaměstnanců. Nástroj umožňuje činnosti, které jsou typické jak pro zaměstnance připravující rozvrh,

tak i pro zaměstnance, kteří rozvrh dále zpracovávají, např. do podoby výkazu evidence pracovních hodin potřebné pro mzdové oddělení.

Nástroj byl dokončen a vyladěn s výrazným přispěním testováním. To bylo zaměřeno na GUI nástroje, výkonnost a rychlost optimalizačního algoritmu a také na snadnou ovladatelnost a intuitivnost nástroje.

2d Výsledky dle kategorie RIV

„Systém pro optimalizaci výroby (výsledek kategorie R)“

Byl dokončen systém pro optimalizaci výroby běžící na adrese

<http://productionoptimization.cak.merica.cz/>,

který se skládá ze dvou nástrojů, a to a) nástroje pro sériovou výrobu a b) nástroje pro zakázkovou výrobu. Cílem prvního z nich je maximalizovat propustnost výrobní linky s ohledem na její parametry, cílem druhého je připravit detailní výrobní plán s ohledem na vstupní data. Těmi jsou zakázky skládající se z jednotlivých aktivit a k nim odpovídající mezní termíny uvolnění do výroby a dokončení. Dále je to pak množina výrobních strojů s jejich kapacitami a nevýrobními časy. V neposlední řadě to jsou přestavbové časy mezi jednotlivými aktivitami zpracovávanými na strojích. Vstupní data musí být reflektována tak, aby byl výsledný výrobní plán validní. Předmětem optimalizace může být jedno, popřípadě více kritérií, např. minimalizace překročení mezních termínů dokončení zakázek, popř. minimalizace přestavbového času apod.

„Systém pro optimalizaci výroby (výsledek kategorie X)“

Byl publikován následující článek zabývající se optimalizací výrobní linky:

[1] Bukata, L. - Šůcha, P. - Hanzálek, Z. - A new lower bound for optimisation of energy consumption of robotic cells. Proceedings of the 7th Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications. Nottingham: University of Nottingham, 2015, p. 1-4. ISSN 2305-249X.

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. V nejbližším roce bude pokračovat práce dle naplánovaných podkladů.

Pracovní balíček WP11 – Softwarové moduly pro monitorování a řízení s využitím modelů průmyslových procesů

1. Popis činností

Činnost „Algoritmizace a implementace softwarových modulů pro monitorování a řízení průmyslových procesů“ probíhala podle plánu.

V definovaných aplikačních oblastech (viz část 2a níže) byly dokončeny práce započaté v roce 2014:

AO1 - Došlo k dokončení syntézy pozorovatele ustálených stavů teplot na válcovacích stolicích s aplikací pro adaptaci parametrů modelu přestupu tepla.

AO2 - Byl navržen a implementován původní algoritmus pro aproximaci zploštění válců při válcovacích procesech s využitím tzv. Hertzových zákonů. Dále byly finalizovány algoritmy pro detekci a kompenzaci excentricity válců s využitím aparátu Fourierovy transformace. Další řešenou problematikou byl návrh a implementace algoritmů pro dosažení konstantního tahu na stolicích při válcování za studena.

AO3 - V návaznosti na předchozí výsledky dosažené v parametrizaci PID regulátorů pro systémy se zpožděním s využitím bezrozměrného přístupu, byla dopracována metodika návrhu parametrů s využitím metody optimálního modulu. Dále došlo k implementaci algoritmu pro kompenzaci časově proměnného dopravního zpoždění v systému regulace tloušťky plechu a pokračoval výzkum v oblasti využití metody přizpůsobení modelu pro řízení systémů s mnoha vstupy a výstupy.

AO4 - Pro účely optimalizace provozu ocelářenských aplikací byly implementovány matematické modely procesů tavby a byly stanoveny a implementovány postupy pro optimalizaci procesu přes velké množství procesních dat.

Činnost „Simulační testování navržených modulů“ probíhala podle plánu.

Výše zmiňované algoritmy byly průběžně testovány s využitím modelů procesů aplikovaných pomocí numerických metod a to jak ve fázi přípravné, s využitím analytických SW prostředků, tak i ve fázi implementační do jazyků C a C#.

V souladu s plánem probíhala i další činnost „Provozní testování a kompletace navržených softwarových produktů“.

Došlo ke kompletaci knihovny komplexních softwarových modulů pro monitorování a řízení technologických procesů zejména hutních. V návaznosti na simulační ověřování funkčnosti daných algoritmů byly jednotlivé softwarové moduly testovány jak na provozních datech tak i přímo ve vybraných provozech kde aktuálně probíhá uvádění do provozu nových systémů a kde byly i navržené softwarové produkty využity. Jedná se především o provoz ocelárny v Indii a válcovacích tratí v Pákistánu.

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Milník pracovního balíčku „Softwarové moduly pro monitorování a řízení“ byl dosažen v souladu s plánem.

V návaznosti na předchozí fáze projektu byly implementovány softwarové moduly pro monitorování a modelem podporovanou optimalizaci řízení v následujících aplikačních oblastech (AO):

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 byly v jednotlivých AO dosaženy výsledky v souladu s návrhem projektu, a to zejména v aplikačních oblastech válcování a procesů sdílení tepla v hutním průmyslu. Hlavní dosažené výsledky byly aplikovány do Knihovny softwarových modulů pro monitorování a řízení průmyslových procesů, která je hlavním výsledkem pracovního balíčku. Výsledky dosažené v aplikovaném výzkumu byly v souladu s návrhem projektu prezentovány na řadě prestižních konferencí oboru a formou návazných publikací.

2b Dílčí cíle

Plánovaný dílčí cíl „Návrh a implementace softwarových modulů pro monitorování a řízení“ byl splněn.

Primární cíl pracovního balíčku, to jest 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, byl splněn v souladu s návrhem projektu. V rámci řešení daného cíle byla navržena řada matematických modelů a původních algoritmů pro monitorování a optimalizaci procesů, zejména v hutním průmyslu, na který se primárně zaměřuje průmyslový partner balíčku – firma PTSW. Vzniklé algoritmy a softwarové moduly, viz níže a podrobněji v příloze zprávy [1], byly testovány s využitím simulačního a laboratorního zázemí obou partnerů a posléze validovány na provozních datech.

2c Dílčí výstupy

Plánovaný dílčí výstup byl splněn.

„Softwarová modulární aplikace pro monitorování a řízení“

Výstupem je modulární softwarová aplikace pro monitorování a řízení průmyslových procesů implementovaná na platformě C/C++/C#.NET. Aplikace obsahuje *moduly pro procesy válcování* (jmenovitě estimátor teplot vývalku na stolicích válcovací tratě [7]; algoritmy pro kompenzaci excentricity válců s využitím aparátu Fourierových řad; tuhostní model pro výpočet silového profilu válce; kompenzace proměnného zpoždění ‘dopravníkového typu’; aplikace pro optimalizaci válcovací stolice za studena - otáčková regulace s omezením krouticího momentu, algoritmy pro výpočet aktuálního průměru navíjeného/odvíjeného svitku a aktuálního tahu v pásu; algoritmy pro kompenzaci tření a dynamického momentu setrvačnosti) a *moduly pro simulaci a identifikaci parametrů pecí pro*

tavbu oceli (jmenovitě pecní modely, modul pro předzpracování provozních dat; modul pro filtraci věrohodných dat pro vybrané typy taveb; grafická rozhraní pro analýzu reziduí a adaptaci parametrů operátorem; optimalizační nástroje pro identifikaci parametrů procesů).

V rámci aplikovaného výzkumu byly též navrženy původní metody a algoritmy pro řízení procesů distribuovaného a komplexního charakteru, které byly prezentovány na prestižních konferencích oboru. V oblasti parametrizace PID regulátorů pro procesy s dopravním zpožděním byly navrženy metodiky návrhu s využitím optimálního modulu [5] s aplikací na bezrozměrný tvar matematického modelu – dosažené výsledky jsou tedy obecně platné pro danou třídu systémů. Pozornost byla též věnována analýze přizpůsobení přenosu systému danému modelu (“exact model matching”) pomocí stavové zpětné vazby [2, 3, 4] a identifikaci parametrů systému se zpožděním [6] (článek je dosud v recenzním řízení).

2d Výsledky dle kategorie RIV

1 x R – software: „Knihovna softwarových modulů pro monitorování a řízení průmyslových procesů“ Knihovna obsahuje softwarové moduly pro monitorování a optimalizaci řízení vybraných procesů hutního průmyslu, a to zejména procesů válcování a pecních technologií, viz část 4 – Výstupy projektu. Moduly jsou podrobně popsány v příloze zprávy [1].

1 x Jimp – článek v impaktovaném časopise [2]

3 x D – článek ve sborníku [3-5]

Reference:

[1] Vyhlídal, T., Knobloch J. (2015), Dílčí výstup: Softwarová modulární aplikace pro monitorování a řízení, Příloha odborné zprávy projektu CK-CAK3.

[2] Castañeda-Toledo E., Kučera V., Ruiz-León J.: Realization of full column rank precompensators using stabilizing static state feedback. *Systems & Control Letters* 76 (2015), 2, 42–46.

[3] Kučera V.: Model matching by non-regular static state feedback. *Proc. American Control Conference, Chicago, USA, 2015*, 3528-3533.

[4] Kučera V.: Which state feedback control laws will not alter the system's transfer function? In: Moreno-Díaz et al. (Eds.): *EUROCAST 2015, Lecture Notes in Computer Science* 9520, pp. 3-9, 2015.

[5] Fišer, J., Zítek, P., Vyhlídal, T., Magnitude Optimum Design of PID Control Loop with Delay, In *Proc. 12th IFAC Workshop on Time Delay Systems TDS 2015 - Ann Arbor, Michigan, USA, 28–30 June 2015*, IFAC-PapersOnLine, Volume 48, Issue 12, 2015, Pages 446–451.

[6] Simeunovic, G., Zítek, P., Vyhlídal, T., Separate Identification of Delays and Coefficients of Single Input Single Output Time Delay Systems, in review in *Journal of Process Control*

[7] Fišer, J., Zítek, P., Vyhlídal, T., Skopec, P., Knobloch, J., Applying Heat Transfer Models to Estimating the Hot Strip Temperatures in Steel Rolling Mill Lines, *výzkumná zpráva projektu CK-CAK3*.

3. Očekávaný průběh řešení projektu

Na balíček WP11 bude v následující etapě projektu navazovat balíček WP22 - Modulární systém pro monitorování, řízení a optimalizaci výrobních procesů. Průběh řešení bude probíhat plně v souladu s návrhem projektu a to v rámci následujících plánovaných aktivit:

- Průzkum aktuálních trendů v oblasti optimalizace distribuovaných výrobních systémů (leden-červen 2016) - budou kriticky analyzovány postupy pro optimalizované řízení distribuovaných systémů zejména v hutním průmyslu, např. optimalizované řízení válcovacích linek, dopravníkových systémů, či pecních technologií.
- Aktualizace a kompletace softwarových nástrojů pro monitorování a řízení (zahájení leden 2016) - v návaznosti na činnosti v rámci balíčku 11, budou rozšířeny a aktualizovány softwarové nástroje pro monitorování a řízení procesů válcování, chlazení a pecních technologií a to s využitím rychle se rozvíjejících metod moderní aplikované teorie řízení.
- Návrh metod a implementace softwarových nástrojů pro optimalizaci výrobních procesů (zahájení červenec 2016) - Aktivita se zaměří na návrh algoritmů a softwarových modulů pro optimalizaci výrobních procesů hutního průmyslu a to s využitím dynamických matematických modelů popisujících jednotlivé procesní podsystémy, materiálové a energetické toky a jejich propojení v rámci daných logistických pravidel.

Pracovní balíček WP23 – Management projektu

1. Popis činností

V souvislosti s přechodem manažera projektu z Fakulty elektrotechnické ČVUT na Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky ČVUT byl k 1. 9. 2015 projekt převeden pod novou organizační jednotku příjemce - Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky ČVUT.

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., dr. h. c., koordinátor cíle 2,
prof. Ing. Václav Hlaváč, CSc., koordinátor cíle 3,
prof. Dr. Ing. Zdeněk Hanzálek, koordinátor cíle 4,
Monika Hübnerová, sekretářka projektu,

s výjimkou změny finanční manažerky projektu: Ing. Jaroslavu Novákovou k 1. 10. 2015 nahradila Mgr. Jana Bartáková.

Řešení projektu v roce 2015 probíhalo v souladu s návrhem projektu. Uskutečnila se pravidelná jednání na všech řídicích úrovních. Tutora projektu pana Ivana Stránského nahradil nově pověřený konzultant pan Ing. Tibor Strašrybka. Změna velmi prospěla řešení projektu.

Uskutečnila se plánovaná činnost „Seminář a Rada CAK“ s termínem zahájení 09/2015 a termínem ukončení 11/2015.

Seminář projektu se uskutečnil v hotelu Purkmistr v Plzni ve dnech 9. - 10. 9. 2015 a přispěl ke vzájemné informovanosti týmů a ke koordinaci řešení projektu. Jednání Rady centra proběhlo v rámci semináře dne 9. 9. 2015. Rada projektu konstatovala, že řešení projektu postupuje podle plánu a závazky budou splněny.

Semináře i jednání Rady centra se zúčastnil pověřený konzultant Ing. Tibor Strašrybka.

Kromě běžné manažerské práce manažer projektu připravoval sebehodnotící zprávu projektu za první období 2012 - 2015, zúčastnil se oponentury projektu a připravil návrh na řešení projektu v dalším období 2016 - 2019.

Manažer projektu prezentoval projekt „Centrum aplikované kybernetiky 3“ účastníkům konference Eurocast, která se konala v Las Palmas v únoru 2015 a dále účastníkům konference American Control Conference, která se konala v Chicagu v červenci 2015. Podklad pro prezentaci projektu je přílohou odborné zprávy. Při té příležitosti též přednesl odborné příspěvky.

2. Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

„Návrh na řešení projektu v dalším období“

Vypracování sebehodnotící zprávy projektu, oponentura návrhu, vypracování návrhu na řešení projektu na druhé období 2016 - 2019.

Termín dosažení 06/2015. Splněno podáním návrhu.

2b Dílčí cíle

„Návrh na řešení projektu v dalším období“

Vypracování sebehodnotící zprávy projektu, oponentura návrhu, vypracování návrhu na řešení projektu na druhé období 2016 - 2019.

2c Dílčí výstupy

„Průběžná zpráva o řešení projektu“

Termín dosažení 12/2015. Splněno podáním této zprávy.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Nebyly plánovány.

3. Očekávaný průběh řešení projektu

V souladu s návrhem projektu na další období 2016 - 2019.