

Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2014

Příloha k průběžné zprávě za rok 2014

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 CK:

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

1 Popis činnosti

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

Testování bylo ukončeno, součástí testů byla konzultace výsledků s operátorem přenosové soustavy. Tabulka WP1.1 ukazuje, že nejlepší z navržených metod popsaných níže snižuje výpočetní náročnost optimalizační úlohy na polovinu při velice malém zhoršení výsledku ve srovnání s referenčním modelem (řádově setiny procenta). Všechny níže uvedené metody byly implementovány do modelu.

	Time limit 1800 s		Gap 0.05 %	
	Generation cost (%)	Gap (%)	Generation cost (%)	Solution time (s)
Original MILP	100.00	0.0149	100.00	2,080
HT coop.	+0.846	0.0079	+1.656	1,323 (-36.4%)
Gran. 2h	-0.001	0.0116	-0.050	2,541 (+22.2%)
Gran. 4h	+0.007	0.0090	-0.020	2,487 (+19.6%)
Merit-fix 50%	+0.063	0.0092	+0.315	1,645 (-20.9%)
Merit-fix 75%	+0.527	0	+2.598	999 (-52.0%)
Perturbation	-0.004	0.0132	-0.007	2,547 (+22.5%)
LRMILP-FIX	+0.004	0	-0.038	2,671 (+28.4%)
LP-FIX	+0.410	0	+0.797	774 (-62.8%)
LP-FIX+Con	+0.043	0.0025	+0.039	1,498 (-28.0%)
LP-FIX+Pert.	+0.003	0.0042	-0.018	984 (-52.7%)
LP-FIX+Con+Pert.	+0.009	0.0086	-0.033	1,097 (-47.3%)

Tab. WP1.1. Srovnání použitých metod redukce složitosti modelu

Vývoj modelu s přenosovými omezeními podle DC Load Flow modelu přenosové soustavy.

Do modelu byl implementován DC Load Flow model výkonových toků v přenosové soustavě. Ke snížení složitosti optimalizační úlohy byly použity následující metody dekompozice a redukce modelu.

1. Samostatný model vodních elektráren

Tato metoda využívá specifického způsobu nasazování přečerpávacích vodních elektráren, jejichž primární úloha je minimalizovat vliv špiček v zatížení elektrizační soustavy a poklesu zatížení v nočních hodinách. V modelu byl implementován samostatný (MILP) model přečerpávacích elektráren, který je spouštěn před hlavní optimalizací ostatních typů elektráren. Princip modelu je blíže popsán v [1]. Ve srovnávací tabulce WP1.1 je tato metoda označena HT coop. (Hydrothermal Coordination).

2. Změna granularity simulace

Podstatou metody je redukce složitosti modelu snížením počtu binárních proměnných modelu, které reprezentují stav výrobního bloku a které modelují technologická omezení typu minimální

doba najetí a odstavení bloku. Snížení počtu těchto proměnných je dosaženo seskupením po sobě následujících binárních proměnných (reprezentující po sobě jdoucí časové okamžiky) do jedné. Toto snížení časové granularity znamená, že modelovaný blok může změnit svůj stav jen v definovaných násobcích simulačního kroku. Ve srovnávací tabulce WP1.1 je metoda označena Gran. Testovány byly dvě varianty s prodloužením základního simulačního kroku na dvounásobek (označeno Gran. 2h) a čtyřnásobek simulačního kroku (označeno Gran. 4h).

3. Řazení podle marginální ceny bloku

Tato strategie nasazuje výrobní bloky postupně podle jejich marginálních nákladů tak, aby bylo pokryté dopředu známé zatížení. Tento postup nerespektuje síťová omezení, která by v neredukovaném modelu neumožnila daný blok nasadit. Tato nevýhoda metody se kompenzuje využitím výsledku jen pro část výrobních bloků, které byly nasazeny. Tyto nasazené bloky (vybrané opět podle řazení podle marginálních nákladů) jsou v neredukovaném modelu nastaveny podle výsledků předchozí simulace (se zafixovanými stavovými proměnnými), zatímco ostatní výrobní bloky jsou modelovány jako volné. Přínos metody je opět ve snížení počtu optimalizačních proměnných. Ve srovnávací tabulce WP1.1 jsou výsledky metody označeny Merit-fix a uvedeny ve dvou variantách. V první se vybralo 75% z nasazených bloků podle marginální ceny, v druhé variantě bylo použito 50% nasazených bloků.

4. Metoda perturbace parametrů výrobních bloků

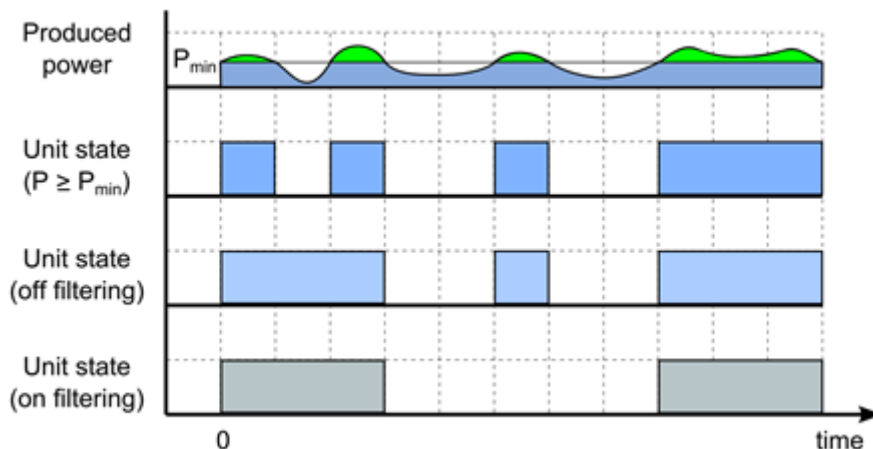
Tato metoda redukuje symetrie v modelu, které jsou způsobeny tím, že typicky jedna výrobní obsahuje několik bloků se stejnými parametry, což při optimalizaci generuje mnoho ekvivalentních řešení úlohy a tím zvyšuje výpočetní náročnost. Tyto symetrie jsou odstraněny vzájemným zvýšením výrobních nákladů u identických bloků jedné elektrárny o definovaný koeficient (0,01 €/MWh). Výsledky této metody jsou uvedeny v tabulce WP1.1 ve sloupci označeném Perturbation.

5. Dvoufázová optimalizace s lineární relaxací

Poslední metodou zjednodušení modelu je dvoufázový výpočet. V první fázi se vyřeší linearizovaná úloha (tyto úlohy jsou řádově jednodušší než úlohy obsahující binární nebo celočíselné proměnné).

V první variantě je řešena lineární relaxace úplného modelu (všechna omezení na binární proměnné jsou zahozena a binární stavové proměnné jsou nahrazeny spojitými). Výsledné hodnoty stavových proměnných relaxovaného modelu slouží k zafixování hodnot stavových proměnných neredukovaného modelu (teď již opět binárních) a to tak, že pokud měla relaxovaná spojitá stavová proměnná hodnotu 0 je fixována na 0 (blok není nasazen), jinak je binární stavová proměnná fixována na hodnotu 1. Ve srovnávací tabulce WP1.1 je tento postup označen jako LRMILP.

Ve druhé variantě je model opět linearizován, ale hodnota fixace binárních stavových veličin není dána hodnotou relaxovaných spojitých proměnných jako v první verzi metody, ale podle výkonu bloku. Pokud výkon bloku překročí danou prahovou hodnotu je stavová binární proměnná fixována na 1, jinak je její hodnota fixována na 0. Princip fixace hodnoty stavové veličiny v závislosti na výkonu bloku v linearizovaném modelu je zobrazen na obrázku WP1.1. Tento postup je současně kombinován s perturbací parametrů u identických bloků v jedné výrobě (v tabulce WP1.1 označeno LP-FIX+Pert.) a s heuristickou úpravou výsledků relaxované úlohy, tak aby dávala výsledky bližší původní úloze a konzistentní s omezeními na minimální dobu běhu a odstavení bloku (na obrázku WP1.1 je princip úpravy na průbězích označených off a on filtering). V tabulce WP1.1 je tato metoda označena LP-FIX+Con. Zároveň je v tabulce WP1.1 uvedena varianta bez těchto úprav (LP-FIX) a s kombinací obou postupů (LP-FIX+Con.+Pert.).



Obr. WP1.1. Princip fixace proměnné u metody LP-FIX

Implementace DC Load Flow modelu přenosové soustavy do celoevropského modelu trhu s elektřinou.

DC Load Flow model přenosových omezení sítě byl implementován do celkového modelu. Model nyní umožňuje výběr mezi modelováním síťových omezení pomocí maximálních hodnot přenášeného výkonu pro každé přenosové vedení, nebo pomocí DC Load Flow.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Nebyly plánovány.

2c Dílčí výstupy

Metody dekompozice a redukce optimalizační úlohy - výzkumná zpráva

Dílčího výstupu bylo dosaženo. Navržené metody a výsledky testování jsou uvedeny ve zprávě Dvořák, M.; Zabojsník, J.; Novák, O., *Metody dekompozice a redukce optimalizační úlohy modelu celoevropského trhu s elektřinou*, Výzkumná zpráva, ČVUT, Praha 2014, jejíž popis tvoří samostatnou přílohu odborné zprávy.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Výsledky nebyly plánovány, nicméně navržené metody dekompozice a redukce modelu byly prezentovány na mezinárodní konferenci a vznikl tak výsledek [1] typu D – článek ve sborníku:

[1] Zabojsník, J.; Dvorak, M., "Modelling and simulation of large scale power grids," *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2014 14th International Conference on*, vol., no., pp.182,186, 10-12 May 2014, doi: 10.1109/EEEIC.2014.6835860

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V souladu s harmonogramem prací na projektu.

Pracovní balíček 2 – WAMS rádce operátora evropské elektrické přenosové sítě pro účely zvýšení stability a spolehlivosti

1 Popis činnosti

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

V této oblasti vývoje bylo navázáno na předchozí etapu, ve které byly původní jednotky PMU vylepšeny změnou GPS modulu a doplněním GPRS modulu pro přenos synchronních fázorů a vzdálenou správu prostřednictvím sítě mobilních operátorů. Také byl přidán modul pro ukládání dat s vysokou četností pro následnou off-line podrobnou analýzu detekovaných událostí.

Na konci roku 2013 a na začátku roku 2014 byly provedeny dlouhodobé testy takto upravených jednotek PMU v síti VVN firmy EON. Během těchto dlouhodobých testů byla zjištěna bezvadná funkčnost časové synchronizace a modulů pro GPRS komunikaci, ale objevily se potíže s dlouhodobým ukládáním dat. Tyto problémy se nevyskytly v předchozím laboratorním testování. Bylo zjištěno, že příčina je v použitém výpočetním modulu PMU Raspberry Pi, který obsahuje kombinovaný radič Ethernetu a USB.

Během první poloviny roku 2014 byl proveden výzkum vedoucí k lepšímu řešení. Po provedených podrobných rešerších byl vybrán modul APU1D4/T40E 4GB z produkce firmy PC Engines. Tento modul má větší výpočetní výkon a lépe řešené radiče USB a Ethernetu. Větší výpočetní výkon přinesl větší nároky na chlazení jednotky. Podařilo se najít řešení s pasivním chladičem a tím neslevit z požadavků na technické parametry PMU. Stabilita a spolehlivost jednotek PMU s novými moduly byly dlouhodobě testovány v laboratoři a v provozu během podzimního měření na vedení V537.

Vývoj SW prototypu dále pokračoval v implementaci a integraci druhé vrstvy monitoru ampacity a detekce událostí, která doplňuje deterministický odhad veličin o jejich VaR hodnoty.

Návrh modelů chyb monitoru a jejich off line testování

V roce 2014 pokračoval návrh monitoru ampacity, kde byl výzkum zaměřen na návrh chyb algoritmu predikce ampacity elektrického vedení na základě předpovědi počasí. Přesnost předpovědi počasí do značné míry určuje míru rizika spojenou s překročením dovoleného zatížení elektrického vedení. Proto je potřeba při predikci ampacity vedení pracovat s modely chyby predikce meteorologických veličin. Tyto modely byly navrženy na základě analýzy experimentálně získaných meteorologických dat z let 2013 až 2014. Byla získána řada modelů popisující vývoj chyby predikce dané meteorologické veličiny vzhledem k délce predikce. Ampacita vedení je predikována jako náhodná veličina popsána očekávanou hodnotou a také hodnotami Value at Risk (VaR).

Navržený algoritmus predikce ampacity včetně odhadu odpovídajících VaR hodnot byl implementován ve vývojovém prostředí MATLAB a jeho funkce byla ověřena na případové studii realizované na historických datech z vedení 110kV a na naměřených datech na vedení V537 Sokolnice – Slavkov ve dnech 2. – 3. 10. 2014. Při tomto měření byla naměřena také povrchová teplota vodiče pomocí bezkontaktního měření infrakamerou.

Druhá oblast výzkumu byla cílena na analýzu chyb detekce a lokalizace událostí v elektrických sítích. Vliv chyb byl analyzován na relevantních datech získaných z měření sítě pomocí PMU a na okamžitých hodnotách napětí a proudu získaných měřeními při vysokém vzorkování (80kHz). Na základě těchto analýz byl dále testován způsob korekce metody v případě falešné detekce událostí a byla kvantována chyba, kterou je zatížena lokalizace místa události.

V případě detekce události v síti byla vytvořena metoda adaptivního nastavení trigrovací úrovně. Cílem bylo zajistit eliminaci chybových detekcí tak, aby nedocházelo k falešným alarmům v bezporuchovém stavu sítě a zároveň aby byl naplněn požadavek na dostatečně citlivé monitorování MODWT koeficientů.

V bezporuchovém stavu jsou vysokofrekvenční složky v naměřených elektrických signálech zanedbatelné a řídí se normálním rozdělením. Díky tomu bylo možné ukázat, že i waveletové koeficienty z malých škál (koeficienty používané při detekci událostí) jsou amplitudově zanedbatelné a taktéž mají normální rozdělení s konstantními parametry. Signály jsou stacionární.

Na základě provedené analýzy byl definován způsob detekce zvýšení amplitudy v průběhu detailových koeficientů, která souvisí se vznikem transienčních jevů v elektrickém signálu spojených se vznikem zkratu, jako okamžiku, kdy koeficienty překročí zvolený interval $\mu \pm k\sigma$. Tento interval je v monitoru událostí průběžně aktualizován během dlouhodobého provozu monitorovacího zařízení.

Dále byla v rámci řešení projektu vyvinuta metoda pro identifikaci zdroje transienčních vzruchů pro případy apriorního rozhodování v úloze lokalizace událostí v síti. V procesu rozhodování mezi vnější a vnitřní poruchou je aplikován opět způsob detekce s využitím stochastických vlastností monitorovaných signálů. Dojde-li ke zkratu, ať už kdekoliv, začnou se z postiženého místa šířit ve vedení transienční vzruchy. Ty jsou postupně detekovány na měřených bodech sítě a z polarit DWT koeficientů analyzovaných proudů v měřených místech je rozhodováno o vnitřní či vnější poruše v rámci monitorované oblasti vedení.

Tyto algoritmy byly opět implementovány v prototypovém prostředí Matlab. Na základě zjištěných poznatků byl upraven softwarový simulátor poruchy na vedení, na kterém byl algoritmus otestován. Tento postup byl zvolený z důvodu neexistence vysokorychlostně vzorkovaných synchronních dat napětí a proudů z události na vedení.

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

Byly zahájeny vývojové práce na online monitoru ampacity a detektoru stavů a událostí v elektrických sítích. Byla navržena struktura těchto modulů a navrženo programátorské rozhraní mezi těmito moduly a systémem WAMS, tzv. API.

V předchozích etapách se ukázalo důležité otestovat vytvořené moduly ve skutečném provozu. To je náročné na přípravu a instalaci. Také není možné se spoléhat, že v době testování dojde ke všem událostem detekovaným vyvíjenými moduly. Z tohoto důvodu bylo zvoleno testování pomocí metody HIL – Hardware-in-the-loop. Metoda spočívá v generování fyzikálních signálů napětí a proudů, které jsou pak připojeny na vstupy PMU jednotek.

Při návrhu testovacího stojanu bylo zjištěno, že signály pro PMU není možné přímo vygenerovat běžnými výstupy, neboť mají řádově jinou amplitudu. Z tohoto důvodu byl vytvořen návrh zesilovačů včetně plošných spojů, které převádějí standardní výstupy na požadovanou napěťovou a proudovou úroveň. Dále byly zahájeny práce na vytvoření testovacích scénářů, tedy na simulování jednotlivých událostí.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Návrh modelů VaR hodnot chyb monitoru ampacity a detektoru událostí i stavů stability a jejich SW prototyp

Dílčího cíle bylo dosaženo. Byla navržena druhá vrstva monitoru, která k predikované ampacitě počítá její VaR (Value at Risk) hodnotu. Také pro detektor události zkratu byla vytvořena vrstva, která k odhadnutému místu události určuje VaR hodnotu. Tato vrstva byla implementována do offline monitoru ampacity a detektoru událostí v prototypovém prostředí Matlab.

2c Dílčí výstupy

Zpráva a software: Metody a SW VaR vrstvy monitoru ampacity a detektoru událostí i stavů stability v elektrických sítích

Dílčích výstupů bylo dosaženo. Byla vytvořena zpráva [1], ve které je popsána VaR vrstva monitoru ampacity a detektoru událostí. Tato vrstva byla implementována v prototypovém prostředí Matlab a propojena se SW z předchozí etapy. Tento SW byl offline otestován.

[1] Janeček, E., Popelka, A. a kol.: Metody a SW VaR vrstvy monitoru ampacity a detektoru událostí stability v elektrických sítích.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Nebyly plánovány.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V roce 2015 předpokládáme řešení projektu podle harmonogramu, který je dán v strategické výzkumné agendě projektu.

Pracovní balíček 3 – Vysoce efektivní řízení elektrických strojů

1 Popis činností

Vývoj algoritmů pro energeticky optimální řízení motorů

V roce 2014 VUT navázalo na výsledky vývoje v oblasti energeticky optimálního řízení z předchozího roku, kdy se pro zajištění optimality používala vhodně zvolená kritériální funkce v prediktivním řízení - MPC. Problémem byla vysoká výpočetní náročnost, která znemožňovala běh algoritmu na požadované vzorkovací frekvenci. Bylo docíleno zjednodušení algoritmů prediktivního řízení při zachování jeho přesnosti. Nové algoritmy byly simulačně ověřeny v prostředí Matlab Simulink. Probíhá implementace vylepšených algoritmů v hradlovém poli systému CompactRIO a Labview firmy National Instruments. Po jejich odzkoušení se předpokládá jejich testování na reálném motoru a prezentace výsledků ve formě konferenčního příspěvku. Bylo navrženo a otestováno energeticky optimální řízení pro devítifázový motor. Řešení vychází ze strategie řízení zajišťující maximální moment při minimálním proudu – MTPA. Křivka MTPA byla dopředu vypočítána a v prostředí Matlab Simulink realizována pomocí konverzní tabulky. Toto řešení je velmi rychlé a dosahuje požadované přesnosti. Automaticky vygenerovaný kód ze Simulinku pro energeticky optimální řízení byl úspěšně ověřen na reálném devítifázovém motoru. Firma EMSPIN s.r.o. se zabývala vývojem, implementací a ověřováním algoritmů pro energeticky optimální řízení synchronních motorů v generátorickém režimu s použitím navrženého měniče, který má separovanou silovou část a řídicí část se signálovým procesorem (viz obrázek WP3.1).



Obr. WP3.1. Použitý třífázový měnič navržený a modernizovaný v předchozích letech projektu.

Hlavním cílem vývoje byla implementace moderních algoritmů pro řízené optimální dobíjení akumulátorů s ohledem na použitý typ dielektrika (LiFePo₄, Lion, LiPol, Pb). Pro ověření algoritmů regenerativního brzdění byly využity Hallovy snímače, které jsou integrované v současných motorech. Samotné algoritmy byly testovány na laboratorní testovací stolici s možností nastavení plynulého přechodu z motorického do generátorického režimu.

V oblasti nízkých pracovních otáček kdy je hodnota back EMF nižší než napětí baterie, je potřeba zvýšit indukované napětí nad hodnotu napětí baterie. Aplikace BLDC komutace umožňuje aplikovat půlmůstkové komutační brzdění a celomůstkové komutační brzdění. Porovnání algoritmů energeticky optimálního řízení je vidět v tabulce WP3.1.

<i>Algoritmus brždění</i>	<i>Otáčky motoru</i>	<i>Brzdicí moment</i>	<i>Napětí baterie</i>	<i>Proud baterie</i>
	<i>[ot/min]</i>	<i>[Nm]</i>	<i>[V]</i>	<i>[A]</i>
<i>Půlmůstková komutace duty 64%</i>	300	35,8	51,79	18,5
<i>Celomůstková komutace</i>	300	38,8	51,89	22,5
<i>FOC komutace –iq</i>	300	39,1	51,94	24,2

Tab. WP3.1. Porovnání algoritmů brždění

Nejperspektivnější akumulátory pro 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).

Firma TG Drives pokračovala ve vývoji modulárního digitálního servozesilovače, jehož začátek výroby je v tomto projektu naplánován na konec roku 2015. Digitální servozesilovač TGZ-D-24-13/26 je určený k řízení dvou střídavých synchronních servomotorů do výkonu 2x 500W. Malé napájecí napětí (do 48V DC) umožňuje instalovat tyto servozesilovače také do aplikací, kde je problém s přívodem síťového napětí 230/400 V - např. u mobilních zařízení nebo do prostředí vyžadující bezpečné napětí. Výkonný procesor zajišťuje nejen velmi kvalitní řízení servomotorů a tím i vysokou přesnost a dynamiku pohonu, ale současně i řadu uživatelských funkcí umožňujících univerzální využití servozesilovače. Podrobnosti uvádí tabulka WP3.2.

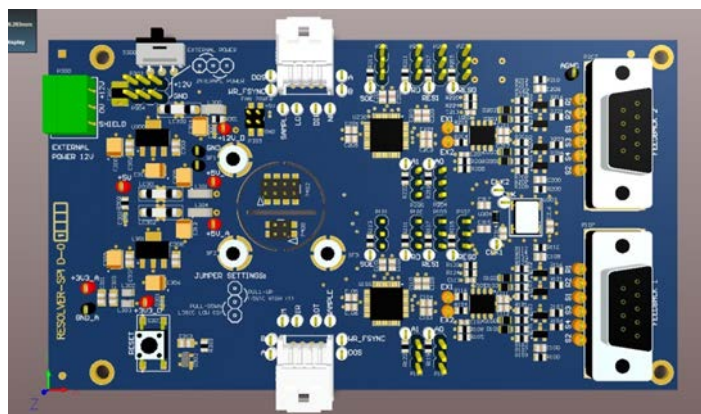
<i>I/O</i>	<i>Typ</i>	<i>Počet</i>	<i>Hodnota</i>
<i>vstup</i>	<i>analogový</i>	2	0-10V / 20kΩ
<i>vstup</i>	<i>digitální</i>	8	24V DC (0-10 níz. / 12-24 vys.), 20mA
<i>výstup</i>	<i>digitální</i>	6	24V, 100mA/výstup

Tab. WP3.2. Vstupy a výstupy modulárního servozesilovače.

Servozesilovač je ve srovnání s předchozí generací kompaktnější (velikost pouze cca 150x45x90mm, hmotnost cca 0,9kg). Umožňuje kompaktní uchycení na velkou či střední plochu. Je realizován jako dvě DPS, což v budoucnu umožní použít řídicí část pro měniče jiných výkonů. Servozesilovač umožňuje současně nezávisle řídit dva motory (dvouosé provedení). Výhodou je škálovatelnost vstupních zařízení. Je možné použít různé varianty (UNI, CAN, ETHERCAT). Zpětná vazba Hiperface DSL (jednokabelové provedení), ENDAT 2.2 a další.

Realizace hardwarového modulu pro konverzi signálů resolveru na unifikovanou sběrnici

K uvedenému servozesilovači byl podle plánu projektu vyroben a otestován hardwarový modul pro konverzi signálů resolveru. Pro konverzi jsou použity čipy od Analog Devices AD2S1210. Signály jsou konvertovány na sběrnici typu SPI 4-wire a je tak možné přivádět informaci o úhlovém natočení přímo do procesoru, a to digitálně. Modul je koncipován jako dvojité z důvodu celkové kompatibility konstrukce se servozesilovači typu TGZ. Rozměry desky plošných spojů jsou 135x75mm a rozložení součástek je vidět na obrázku WP3.2.



Obr. WP3.2. Deska plošných spojů modulu pro konverzi signálů resolveru.

Vytváření pokročilých funkcí pro interpret funkcí

Poslední plánovanou činností byl interpret funkcí pro modulární servozesilovač a implementace jeho pokročilých funkcí. Navázalo se na činnosti, které proběhly v roce 2013. Činnosti probíhaly souběžně na VUT a v TG Drives. Skupina na VUT postavila řešení na programu eLua pro vestavné systémy. Systém eLua dále zahrnuje Lua moduly, které umožňují jednotný přístup k obecným periferiím mikrokontrolerů. Systém eLua integruje vrstvu pro registraci zařízení standardního vstupu a výstupu jazyka C a komunikaci s ní. Klíčové vlastnosti systému eLua jsou shrnuty v následujícím seznamu:

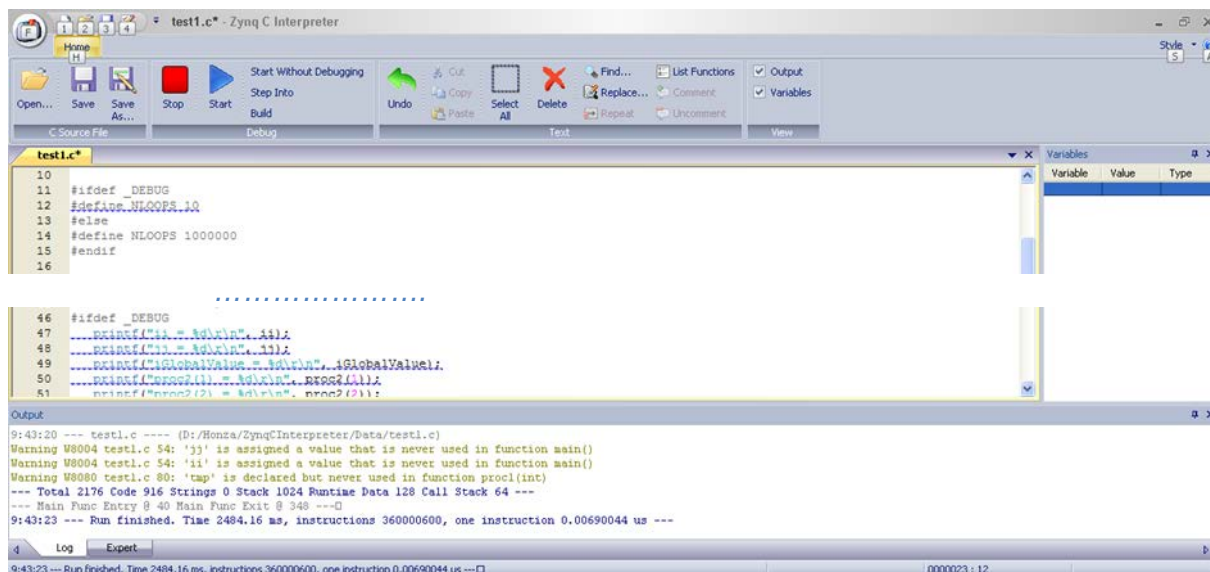
- Dostupné pro více embedded platform a mikrokontrolerů,
- volně dostupné zdrojové kódy,
- vrstva standardního vstupu a výstupu (komunikace, souborové systémy),
- pro překlad vyžaduje GCC s implementovanou knihovnou newlib.

V systému eLua je implementované široké spektrum pokročilých funkcí. Umožňuje otevřít terminál a programovat zařízení pomocí skriptů bez nutnosti kompilace, umožňuje ukládat data na různé souborové systémy. Velkou nevýhodou však je dlouhá doba pro dekodování instrukcí. eLua byla rozchozena a otestována na vývojové desce STM32F4DISCOVERY s mikrokontrolérem STM32F407VG s jádrem ARM Cortex M4F a maximální frekvencí jádra 168 MHz. Skupina v TG Drives vytvořila své vlastní optimalizované řešení, které je postavené na programovacím jazyce C. Vytvořila uživatelské rozhraní, které je možné vidět na obrázku WP3.3. To umožňuje snadnou editaci programu, kontroluje správnost syntaxe a podporuje ladění vytvářených funkcí. K hlavním přednostem před řešením postaveným na programu eLua patří

- Vykonání 1 instrukce trvá cca 47ns.
- Přímý přístup k pohybovým funkcím servozesilovače.
- Přístup k digitálním vstupům a nastavování digitálních výstupů.
- Debug funkce a kontrola syntaxe ve vývojovém prostředí

Toto řešení je v současné době implementováno v modulárním servozesilovači.

Všechny uvedené činnosti byly průběžně vykonávány a realizovány za přispění všech tří partnerů: CEITEC Vysoké učení technické v Brně, TG Drives s.r.o. a EMSPIN s.r.o. Výsledky výzkumu a vývoje, které vznikly v pracovním balíčku WP3 jsou průběžně testovány a využívány v balíčku WP4.



Obr. WP3.3. Vývojové prostředí interpretu funkcí založeném na jazyce C.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Nebyly plánovány.

2c Dílčí výstupy

Interpret funkcí modulárního servozesilovače

Byly vytvořeny dvě verze interpretu funkcí. První byla postavena na programu eLua. Ta obsahuje celou řadu pokročilých funkcí. Umožňuje použití skriptů. Její nevýhodou je bohužel dlouhá latence a dlouhý čas potřebný k dekodování požadovaných funkcí. Z tohoto důvodu bylo vytvořeno druhé řešení, které má mnohem menší latenci a lze ho použít pro typy úloh, pro které by řešení pomocí eLua nebylo možné. Dílčí výstup byl tedy dosažen. Podrobný popis je přiložen v samostatné odborné příloze.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Nebyly plánovány.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V pracovním balíčku WP3 jsou v následujícím období plánovány tři milníky, ke kterým se v rámci prováděných činností a realizací dílčích cílů postupně blížíme. Jedná se o výrobu nového digitálního servozesilovače pro výkony kolem 1kW, aplikace energeticky optimálních algoritmů a vytvoření interpretu funkcí servozesilovače s pokročilými funkcemi. Z plánovaných činností bude pokračovat vývoj nových pokročilých funkcí interpretu, bude realizován hardwarový modul pro konverzi signálů inkrementálního snímače na unifikovanou sběrnici a v neposlední řadě bude pokračovat testování a doladění modulárního digitálního servozesilovače pro započítání jeho výroby. Dílčím cílem bude otestovat funkce pro interpret.

Pracovní balíček 4 – Teleprezenční mobilní robot pro průzkum v nebezpečných oblastech

1 Popis činností

Tvorba koncepce robotu - řešerše, bloková schémata, hlavní parametry

Po konzultaci s předpokládanými uživateli systému (záchranáři, armáda, bezpečnostní složky) a provedené řešerši v odborné literatuře byly vybrány hlavní parametry robotu a bylo navrženo blokové schéma robotu. Bylo rozhodnuto použít koncepci kolového mobilního robotu s dobrou terénní prostupností díky velkým kolům. Navržená podoba ve formě 3D renderu je na obrázku WP4.1 vlevo.



Obrázek WP4.1. 3D model robotu Orpheus (vlevo), fotografie multispektrální senzorické hlavičky umístěné na 3DOF manipulátoru (vpravo).

Návrh a výroba demonstrátoru mechaniky robotu

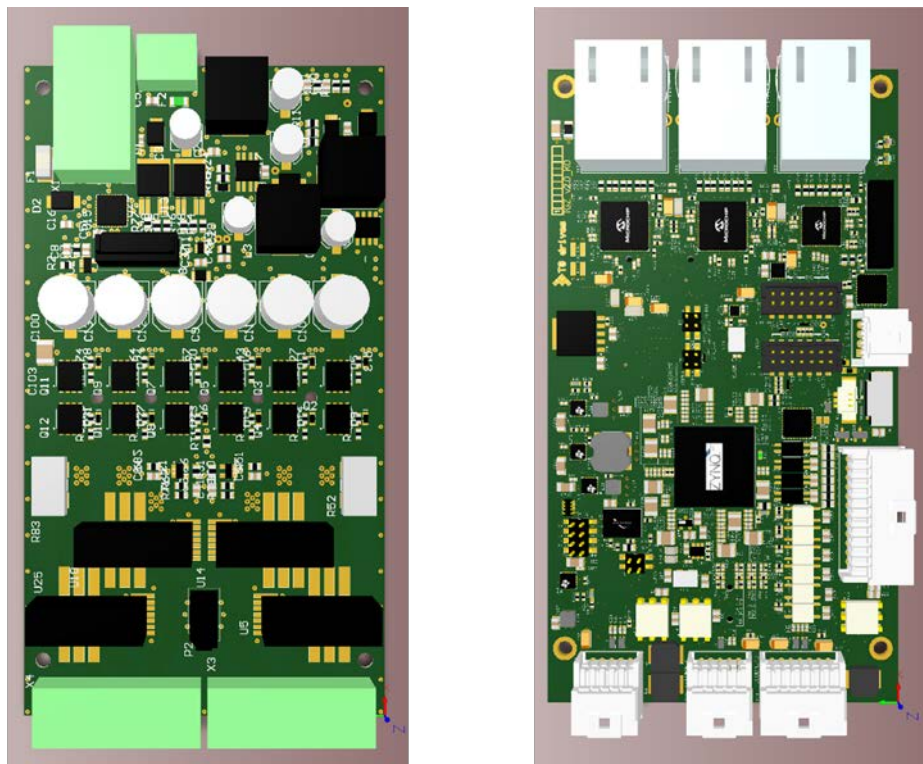
V červnu 2014 byl zahájen vývoj a výroba mechaniky robotu. Za návrh zodpovídá VUT, výroba je provedena ve firmě LTR. Vzhledem k předpokládaným modifikacím byla zvolena konstrukce se svařeným ocelovým rámem a kryty z lehkých slitin. K jednoduchému tělu robotu je připevněn tříosý manipulátor se senzorickou kamerovou hlavicí. Předpokládaná nosnost robotu s osezenými motory je 75 kg, přičemž vlastní konečná hmotnost s Lilon akumulátorem pro 90 minut provozu by neměla přesáhnout 55 kg.

Byla vytvořena přesná a rychlá senzorická hlavička s manipulátorem pro soustavu kamer, které budou ovládány pomocí teleprezence (viz obrázek WP4.1 vpravo). Po analýze byla zvolena kinematická struktura se třemi rotačními stupni volnosti, kterou je možné snadno modifikovat do dvou podob. Pro ověření byl nejdříve vytvořen jednoduchý model s motory Dynamixel DX64. Rychlosti a rozsahy pohybů hlavičky byly zvoleny tak, aby přibližně odpovídaly maximálním hodnotám pohybů lidské hlavy – tj. maximální rychlost pohybů 450°/s, rozsah horizontální více než $\pm 180^\circ$. Nosnost hlavičky je 3,5 kg. Parametry manipulátoru byly ověřeny několika experimenty, dále byla provedena zkouška spolehlivosti. Hlavička je řízena servozesilovači TG Drives a zmíněnou procesorovou deskou s procesorem STM32F427.

Návrh a vývoj řídicích modulů hlavních motorů

Pro použití v robotu byly ve firmě TG Drives navrženy a realizovány servozesilovače TGZ-D-24-13/26. Jejich vývoj probíhal v součinnosti s WP3 - Vysoce efektivní řízení elektrických strojů. Modul byl otestován na VUT a bude nasazen na demonstrátoru Orpheus. Modul splňuje několik

velmi důležitých parametrů pro osazení na mobilní robotické platformě - jde především o rozměry (150 x 45 x 90 mm, při hmotnosti 0,9 kg) - současný modul má prakticky stejné rozměry jako dříve používané servozesilovače, je však schopen řídit dva motory. Další velkou výhodou je možnost použití nových typů snímačů pro zpětnou vazbu a dále integrovaný interpreter jazyka C, vyvíjený především v rámci WP3, který bude rovněž v robotu prakticky použit. Pro tyto servozesilovače byl zvolena koncepce se dvěma DPS – jedna deska obsahuje hlavní procesor a převodníky signálů, druhá deska obsahuje silovou elektroniku. 3D rendery těchto desek jsou na obrázku WP4.2.



Obrázek WP4.2. Ukázka DPS servozesilovače TGZ-D-24-13/26, silová elektronika (vlevo), mikroprocesorová a senzorická deska (vpravo)

Vývoj řídicí jednotky robotu a komunikačních jednotek

Pro robot byla dále navržena a vyrobena nová řídicí jednotka s procesorem STM32F427 (ARM), která umožňuje řízení základních funkcí robotu. Deska je napojena na dříve zmíněné servozesilovače TGZ (variabilně pomocí EtherCAT nebo CAN bus). Deska má dále 6 sériových vstupů (volitelně RS232/485/422/USART) pro připojení senzorického vybavení. Byla otestována spolehlivost a odolnost vůči vibracím. Deska by dále měla být schopna činnosti v širokém rozsahu teplot. Tato řídicí jednotka v robotu zodpovídá za základní pohyby (koordinace otáčení jednotlivých kol, speciální algoritmy pro úplné zastavení a stání na šikmé plošině, rozsahy pohybů manipulátoru) a rovněž za některé bezpečnostní funkce.

Dále byly vybrány komunikační moduly a k nim příslušné koncové stupně pro povolené komunikační frekvence a výkony. Tyto moduly byly otestovány pro možnost provozu na mobilním robotu i operátorské stanici, včetně retranslace.

Návrh komunikačního schématu a komunikačních protokolů

Bylo navrženo velmi flexibilní komunikační schéma, které umožňuje následující:

- heterogenní robotický systém s více různými roboty a více operátorskými stanicemi s různými oprávněními
- možnost retranslace (typicky přes jeden z robotů)
- možnost drátového i bezdrátového provozu

V současnosti je rozpracovávána možnost použití více komunikačních modulů pro jednu datovou linku (záloha, zvětšení dosahu se zachováním alespoň základní funkcionality).

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Ověření vlastností řídicích modulů kamerového manipulátoru

Vlastnosti řídicích modulů i celého celku kamerového manipulátoru (tj. řídicích algoritmů, servozesilovačů a mechanické konstrukce včetně pohonů) byly otestovány několika způsoby. Přesnost polohování byla ověřena pomocí laseru, rychlost a zrychlení jsme měřili pomocí integrovaných snímačů v motoru. Dále jsme provedli základní zkoušku spolehlivosti - nepřetržitý provoz po dobu 30 hodin s definovanými předprogramovanými pohyby.

2c Dílčí výstupy

Laboratorní řídicí modul a algoritmy pro teleprezenci

Na základě analýzy potřeb byla původní představa dvouosého senzorkého manipulátoru rozšířena na komplexnější manipulátor se třemi stupni volnosti, které jsou navíc snadno modifikovatelné na dvě kinematické struktury. Pro ověření byl nejdříve vytvořen jednoduchý model s motory Dynamixel. Rozsahy a rychlosti pohybů manipulátoru byly zvoleny tak, aby přibližně odpovídaly možnostem pohybů lidské hlavy, což bylo i ověřeno. Opět byla použita vlastní řídicí elektronika - servozesilovace TG Drives a procesorová jednotka vyvinutá na VUT a LTR.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Nebyly plánovány

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Je možné konstatovat, že plnění pracovního balíčku probíhá podle původních předpokladů a není nám známa skutečnost, která by ohrožovala úspěšné plnění i v roce 2015.

Pracovní balíček 5 – Hlasové systémy pro interakci člověka se stroji

1 Popis činnosti

Sledování nových teoretických poznatků, sledování trhu v oblasti hlasových systémů

Průběžně, po dobu hodnoceného období, probíhá sledování nových teoretických poznatků formou studia odborných publikací, aktivní účasti na prestižních mezinárodních konferencích ICSP'2014, TSD'2014 a též formou diskusí s pozvanými pracovníky zahraničních pracovišť (např. prof. Sanjeev a Dr. Trmal z JHU Baltimore). Současně byl sledován i vývoj na trhu v oblasti hlasových systémů, a to především formou zjišťování poptávky potencionálních tuzemských odběratelů.

Kompletace laboratorních modulů, jejich optimalizace a testování

Akustický model byl zpracován s využitím vysoce kvalitních akustických dat, ke kterým byla přidána dostupná data z domény řešené úlohy, tj. zpracované záznamy TV zpravodajských pořadů. Akustický model pracuje s plnými kovariančními maticemi, byl využit diskriminativní trénink, který byl doplněn možnostmi adaptace na hlas konkrétních řečníků. Trénovací korpus obsahoval více než 300 hodin anotovaných nahrávek. Jazykový model vznikl kombinací všech dostupných relevantních zdrojů z hlediska řešené úlohy (využity volně dostupné zdroje, např. titulky z iVysílání ČT, OpenSubtitles, internetové články, apod.). Optimální váhy jednotlivých textových zdrojů při tvorbě jazykového modelu byly určeny na základě minimalizace perplexity na verifikačních prepisech. Finální slovník obsahuje cca 1146k slov.

Modul TTS je založen na korpusově orientovaném přístupu zpracování. Při kompletaci a testování modulu byly sledovány aspekty související s velikostí řečového korpusu vs. rychlost odezvy TTS modulu.

Kombinace statistického a znalostního přístupu při řízení hlasového interaktivního systému

Znalostní přístup v hlasových dialogových systémech přináší možnost okamžité adaptace na stav hlasového dialogového systému (např. změna databáze, změna stavu řešené úlohy). Oproti tomu statistický přístup přináší zvýšenou robustnost spočívající především v odhadu stochastických pravidel pro porozumění/řízení dialogového systému. Jejich efektivní kombinací lze využít výhod obou přístupů. V roce 2014 byly zkoumány metody pro kombinaci statistického a znalostního přístupu pro oblast porozumění řeči. Byl připraven model pro dvouúrovňovou detekci sémantických entit pro hlasové dialogové systémy. Zároveň byly zkoumány a následně využity poznatky o ovlivňování přesnosti rozpoznávání řeči různou délkou vstupních promluv a vzájemnými záměnami slov ve spontánní češtině. Byla též vypracována metoda sloužící k převodu vstupní slovní mřížky na slovně-sémantickou mřížku pomocí znalostního přístupu a následně zpracování takové slovně-sémantické mřížky pomocí statistického modelu porozumění.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Kompletace laboratorních modulů (akustického a jazykového) a modulu počítačové syntézy

Dílčí cíl byl úspěšně dosažen v předpokládaném termínu 04/2014. Pro dosažení tohoto cíle byly provedeny kompletace laboratorních modulů, tj. akustického a jazykového modelu a modulu počítačové syntézy. Rozsáhlé testy těchto modulů prokázaly dobrou funkcionality a robustnost. Akustický a jazykový model jsou určeny zejména k rozpoznávání zvukové stopy zpravodajských TV pořadů (konečným cílem je indexace) a dále pro hlasovou interakci uživatele systému. Zde samozřejmě bude uplatněn i modul počítačové syntézy tak, aby hlasový dialog s uživatelem mohl probíhat plnohodnotně. Popis jednotlivých modulů je uveden jako samostatná příloha pracovního balíčku 5.

2c Dílčí výstupy

Akustický, jazykový a dialogový model (příp. model inteligentní interakce) pro řešenou úlohu

Akustický model byl natrénován z více než 300 hodin anotovaných nahrávek pořízených z „prostředí“ řešené úlohy. Při trénování akustického modelu byly aplikovány všechny relevantní techniky zvyšující jeho přesnost a robustnost (např. VAD, CMN, VTLN, diskriminativní trénink, „unsupervised“ adaptace na řečníka). Pro zvýšení přesnosti akustického modelu byly využity plné kovarianční matice, pro rychlý výpočet výstupních pravděpodobností jsou využity grafické karty. Finální jazykový model byl navržen jako trigramový. Optimální váhy jednotlivých textových zdrojů (titulky z i Vysílání ČT, OpenSubtitles, internetové články a další) při tvorbě jazykového modelu byly určeny na základě minimalizace perplexity na referenčních prepisech. Aktivní slovník finálního systému obsahuje 1,146 milionu slov. Model porozumění převádí vstupní hlasový příkaz nebo celou promluvu do podoby významového popisu, v našem případě do podoby příkazu k ovládání vyhledávače informací v audio/video archivu.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Nebyly plánovány.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Řešení pracovního balíčku probíhá standardním způsobem. V průběhu roku 2015 nejsou očekávány žádné zásadní změny ve strategii řešení tohoto balíčku. Spolupráce výzkumné skupiny na ZČU v Plzni a partnerů ve spolupracující firmě SpeechTech s.r.o. probíhá bez problémů.

Pracovní balíček 6 – Komponenty robotického systému interakce člověk- stroj

1 Popis činností

Vývoj metod vizuální navigace a vyhodnocení její spolehlivosti

První z činností pracovního balíčku se zabývala zdokonalováním a dalším rozšířením metod vizuální navigace mobilního robota. V uplynulých letech řešení byl realizován navigační *map&replay* algoritmus SurfNav založený na zpracování obrazu z monokulární kamery nebo laserového dálkoměru a pracující ve dvou fázích. V učící fázi, kdy je robot řízen manuálně, jsou zaznamenána nasnímaná data a vytvořen model prostředí obsahující relativní orientaci význačných příznaků v prostředí k aktuální pozici robota. Během vlastní výkonné fáze je poté robot řízen tak, aby aktuálně nasnímaná data co nejvíce odpovídala datům uloženým v mapě, resp. aby relativní natočení robota vůči významným příznakům v prostředí bylo stejné jako vůči korespondujícím příznakům v modelu.

Snahou provedených rozšíření bylo zvýšit robustnost vůči odometrickým chybám tím, že se odstraní závislost metody na navigaci výpočtem (*dead reckoning*) nahrazením částicovým filtrem. Použití tohoto filtru navíc umožní řešit problémy globální lokalizace (robot na startu mise nezná svoji pozici, ta je algoritmem určena až během provádění mise) a uneseného robota (*kidnapped robot problem*), kdy je algoritmus nucen vypořádat se se situací, kdy ztratí informaci o poloze robota (chybným výpočtem této pozice nebo vlivem externích faktorů). Klíčovou součástí navrženého řešení byl návrh modelů pohybu a senzoru pro částicový filtr, které reflektují specifika a vlastnosti metody SurfNav. V modelu pohybu šlo zejména o vhodnou reprezentaci pozice robota, která je v metodě SurfNav dvojrozměrná a její transformace odpovídající pohybu robota. Při návrhu modelu senzoru bylo klíčem nalézt správnou metriku pro ohodnocení podobnosti aktuálních dat (obrazem z kamery) s daty, která se očekávají, že budou z dané pozice robota nasnímaná. Metrika přitom musí záviset pouze na relativní orientaci robota vůči významným příznakům v prostředí, což koresponduje s chováním algoritmu SurfNav. Tato činnost bude nadále pokračovat v roce 2015, kdy bude řešeno zejména vyhodnocení spolehlivosti vyvinutých metod.

Vývoj metod detekce a řešení problémů s vykonáváním plánů

Dalším aktivitou byl návrh systému pro mapování neznámého prostředí bezpilotním vzdušným prostředkem vybaveným monokulární kamerou otočenou k zemi. Tento systém se skládá ze dvou komponent: mapovací a navigační. Mapovací komponenta snímá obraz z kamery, vyhledává v nich významné příznaky podobně jako SurfNav, ale na rozdíl od něj vytváří mapu těchto objektů s jejich absolutní pozicí. To je možné díky tomu, že se předpokládá, že všechny objekty se nacházejí v jedné rovině. Porovnáním aktuálně naměřených příznaků s příznaky v mapě lze stanovit transformaci, která odpovídá pohybu robota, určit tak absolutní pozici těchto příznaků a přidat je do mapy. Vedlejším produktem mapovacího procesu je pak výpočet aktuální pozice robota.

Úkolem navigační komponenty je navigovat robota za účelem vytvoření kompletní příznakové mapy prostředí, v které se posléze bude robot schopný samostatně navigovat. Nepříjemnou vlastností detekce význačných bodů je to, že nestačí jeden snímek k nalezení všech příznaků, přičemž množství a procento nalezených a použitelných příznaků se liší v závislosti na prostředí. Kromě toho je lokalizační algoritmus z principu zatížen systematickou chybou, která se postupně kumuluje, což může vést k neschopnosti robota dokončit misi. Proto byl navigační algoritmus, který vychází z technik prohledávání neznámého prostředí vyvinutých během předchozího řešení projektu, navržen tak, aby garantoval návrat robota do míst, kde je schopen se bezpečně lokalizovat. Algoritmus tak během provádění plánu prohledávání sleduje schopnost lokalizace robota a v okamžiku, kdy je tato schopnost pod určitou mezí, naviguje jej do místa, kde je robot

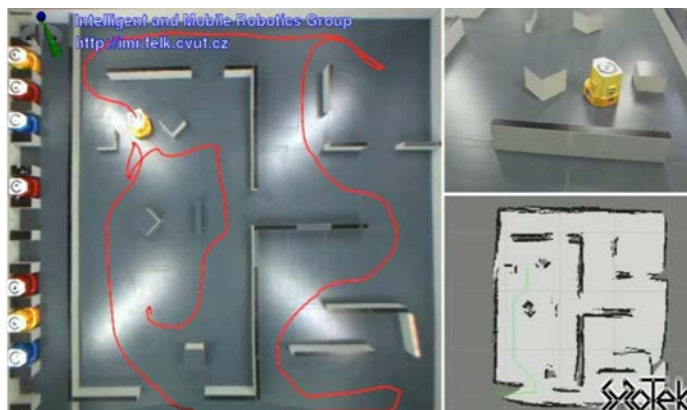
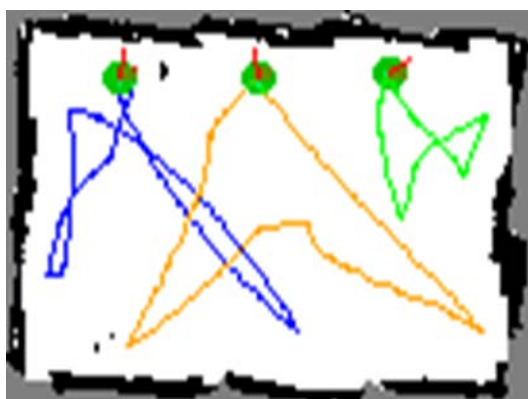
schopný se opět bezpečně lokalizovat. V aktuální verzi je mez určena pevně na základě ujeté trajektorie a vzdálenosti k nejbližšímu místu, kde se robot může lokalizovat. V dalším roce řešení projektu (tato činnost pokračuje i v roce 2015) budou navrženy sofistikovanější metody určení této meze vycházející z tvaru trajektorie, množství detekovaných příznaků podél realizované trajektorie či prostředí, ve kterém se robot pohybuje.

Návrh a realizace testů robotického systému pro autonomní inspekci

Současně s vývojem metod navigace a inspekce/explorace probíhal návrh testů pro robotický systém řešící tyto úlohy s různým stupněm realizmu. První typ testů by měl být prováděn v simulátoru v přísně kontrolovaném prostředí se zafixovanými parametry/funkcionalitami, které přímo nesouvisí s plánovací částí exploračního algoritmu (zejména řízení a lokalizace). Tyto testy umožní detailně zkoumat vlastnosti plánovacího algoritmu s odstraněním vlivu ostatních komponent robotického systému. Druhá sada testů by měla probíhat v simulátoru s jistou dávkou realizmu zejména v pohybu robota a senzorických měření, což vede již na integraci řízení a navigačních algoritmů do systému. Kromě toho simulátor již běží v reálném čase a je tedy nutno řešit výpočetní náročnost plánovacího algoritmu. Poslední sada testů by pak měla být prováděna na reálném systému s nutností řešit všechny praktické aspekty komplexního systému, např. simultánní lokalizaci a mapování či přenos senzorických dat a dalších informací mezi jednotlivými moduly robotického systému.

Kromě testů v simulátoru byly provedeny i experimenty v prostředí systému SyRoTek (<http://syrotek.felk.cvut.cz>) a to jak pro jednoho robota, tak pro skupinu tří robotů provádějících průzkum jednoduché oblasti, viz obrázek WP6.1. Další série testů bude provedena v dalším roce řešení v souvislosti s realizací demonstrátoru robotického systému pro autonomní inspekci.

V neposlední řadě proběhlo testování klientské aplikace pro vizualizaci a modifikaci robotické mise v reálném prostředí. Byly tak získány podklady pro další vývoj a vylepšení designu aplikace a optimalizace komunikace klientské aplikace s centrálním serverem robotického systému.



Obr. WP6.1. Vlevo: průzkum neznámého prostředí jedním robotem v systému SyRoTek: pohled na scénu s červeně vyznačenou projetou trajektorií, detail na robota a mapa postavení z dat z laserového dálkoměru. Vpravo: ukázka trajektorií průzkumu neznámého prostředí třemi roboty Maďarským algoritmem

Vývoj uživatelského rozhraní

Kromě výše zmíněných aktivit byl dále zdokonalován systém pro vizualizaci a modifikaci robotické mise tak, aby mohl být v roce 2015 zakomponován do finální verze Robotického systému. Klientská aplikace byla přenesena z tabletového a desktopového OS Windows 8.1 na jeho verzi

Windows Phone 8.1, která je určena především pro chytré telefony. Díky tomu aplikace přirozeně a efektivně funguje na všech typech zařízení a displejů v celé škále od 4 palcových telefonů po velké monitory desktopových počítačů. Bylo rovněž implementováno zobrazení streamu webkamery jednotlivých robotů v probíhající misi za účelem vizuální navigace v reálném čase založené na technologii HTML5 Web Sockets, která umožňuje nejen velmi rychle přenášet obrazová data s minimálním zpožděním, ale je možné ji také integrovat přímo do robotů pomocí lehkých serverů na platformě NodeJS.

V reálných podmínkách robotické mise je nutné počítat s tím, že v jednu chvíli je kromě většího množství aktivních robotů připojeno přes klientskou aplikaci na různých zařízeních také více lidských operátorů. Naším cílem bylo vytvoření návrhu, který umožní přínosnou kooperaci více uživatelů na více zařízeních. Bylo nutné zajistit bezpečnou autentizaci do konkrétní mise, spravovat akce a požadavky uživatelů, aby je bylo možné na straně serveru bezkonfliktně zpracovat a v případě problémů nebo kolizí informovat uživatele. Existence uživatelských účtů umožňuje rozhodovat o tom, jaká má aktuální uživatel přístupová práva a tím i o tom, jaké akce může v klientské aplikaci provádět – je tak možné definovat například pozorovatele, kteří mohou průběh mise pouze pasivně sledovat, operátory, kteří mají možnost přímo aktivně ovládat roboty, a administrátory, kteří mohou také spravovat ostatní uživatele a dle potřeby v reálném čase odebírat či přidávat účastníky probíhající robotické mise.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Nebyly plánovány.

2c Dílčí výstupy

Nebyly plánovány.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Výsledky nebyly v roce 2014 pro tento pracovní balíček v návrhu projektu plánovány, nicméně některé vyvíjené postupy a algoritmy byly prezentovány na mezinárodních konferencích a vznikly tak následující výsledky typu D – článek ve sborníku:

[1] Kulich, M - Přeučil, L. - Bront M., J.: Single robot search for a stationary object in an unknown environment, In: ICRA2014: Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Piscataway: IEEE, 2014, p. 1215-1220. ISBN 978-1-4799-3684-7., 2014

[2] Kulich, M - Vonásek, V – Přeučil, L.: Simulation-Based Goal-Selection for Autonomous Exploration, Modelling and Simulation for Autonomous Systems: First International Workshop, MESAS 2014, Rome, Italy, May 5-6, 2014

[3] Košnar, K. - Vonásek, V. - Kulich, M. - Přeučil, L.: Combining Multiple Shape Matching Techniques with Application to Place Recognition Task, In Proceedings of the 12th Asian Conference on Computer Vision, Workshop on Scene Understanding for Autonomous Systems , Singapore, 2014

[4] Vonásek, V. - Winkler, L. - Liedke, J. - Saska, M. - Košnar, K. - et al., Fast On-Board Motion Planning for Modular Robots, In: ICRA2014: Proceedings of 2014 IEEE International Conference

on Robotics and Automation. Piscataway: IEEE, 2014, p. 1215-1220. ISBN 978-1-4799-3684-7., 2014

[5] Vonásek, V. - Penc, O. - Košnar, K. - Přeučil, L., Optimization of Motion Primitives for High-Level Motion Planning of Modular Robots, In: Mobile Service Robotics: CLAWAR 2014: 17th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines. Singapore: World Scientific, 2014, p. 109-116. ISBN 978-981-4623-34-6., 2014

3 Očekávaný průběh řešení projektu

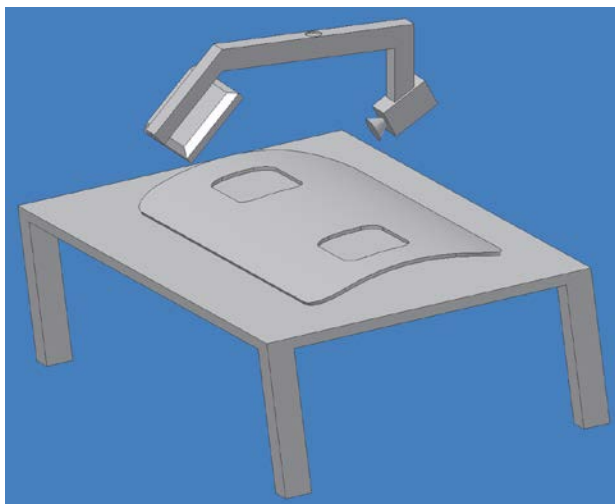
Řešení pracovního balíčku probíhá standardním způsobem. V průběhu roku 2015 budou řešeny dílčí cíle dle návrhu projektu a nejsou očekávány žádné zásadní změny ve strategii řešení tohoto balíčku. Spolupráce výzkumné skupiny na ČVUT v Praze a partnerů ve spolupracující firmě Certicon s.r.o. probíhá bez problémů.

Pracovní balíček 7 – Metody strojového vnímání pro průmyslové a jiné aplikace

1 Popis činností

Reflektometrie, vývoj funkčního vzorku

V roce 2014 jsme se v souladu s plánem soustředili na vývoj a realizaci měřicího zařízení pro kontrolu kvality povrchu zejména lesklých výrobků metodou reflektometrie. Zařízení je tvořeno kamerou a projektorem (LCD panel). Povrch je kontrolován na základě sledování odrazu známého obrazce, který je promítán na kontrolovaný povrch. Na základě experimentů provedených v předešlém roce jsme realizovali funkční vzorek měřicího zařízení (Obr. WP7.1). Realizaci tohoto zařízení zajišťuje Neovision s.r.o. v úzké spolupráci s výzkumným týmem ČVUT. Funkčnost systému jsme ověřili měření menších součástí, které nám poskytl potenciální zákazník této technologie.



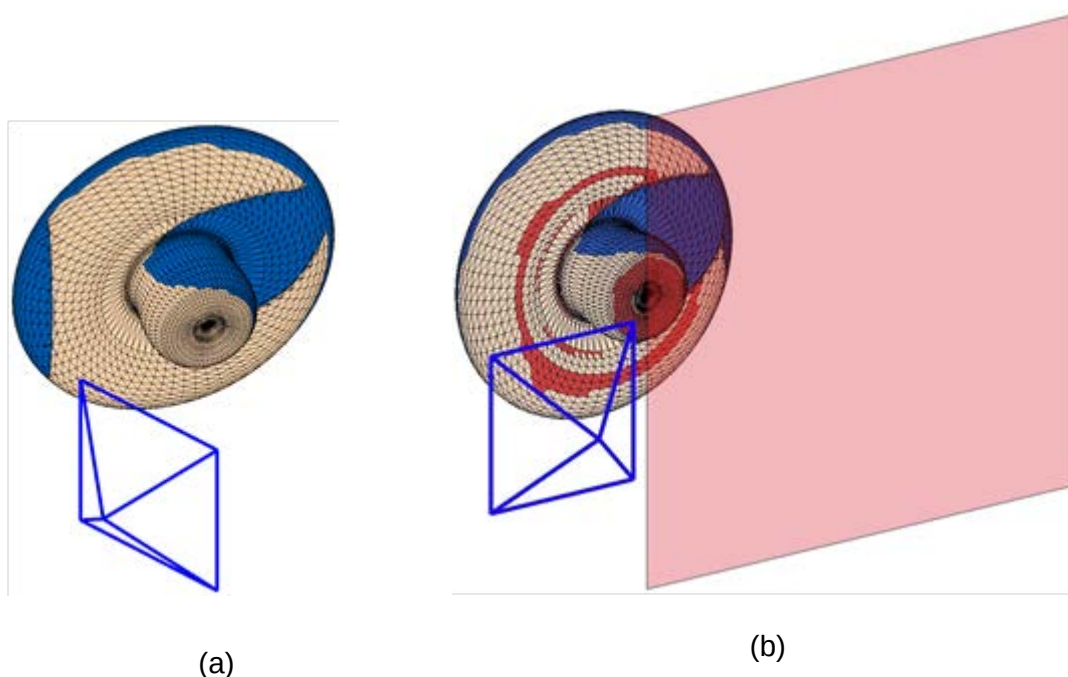
(a)



(b)

Obr. WP7.1. Měřicí zařízení pro kontrolu povrchu: a) vizualizace CAD modelu, b) skutečná realizace.

Technickým problémem tohoto zařízení je poměrně malý prostor, kde může měření probíhat. Proto jsme kameru s projektorem umístili na manipulátor. Měřicí zařízení tak můžeme nad měřeným výrobkem postupně posouvat. Aby byla zajištěna maximální rychlost kontroly povrchu, je třeba naplánovat vhodná místa měření. Plánování musí být založeno na určení oblasti měření pro danou polohu měřicího zařízení. Pro určení měřené oblasti jsme vyvinuli program modelující měřenou část povrchu na základě geometrie zařízení a 3D modelu měřené součásti. Na rozdíl od standardní úlohy hledání viditelnosti jsou v našem případě identifikovány části povrchu viditelné kamerou a zároveň osvětlené projektorem požadovaným způsobem. Povrch reprezentovaný triangulovanou plochou je navíc dle potřeby retriangulován. Výsledky modelování jsou zachyceny na obrázku (Obr. WP7.2). Algoritmus je popsán ve zprávě [4].



Obr. WP7.2. Modelování měřené oblasti při kontrole povrchů: a) Kamerou viditelná část povrchu po retriangulaci, modře označeny nepozorovatelné části povrchu, b) Výsledek modelování, červeně označena část povrchu, kde je možné provádět měření.

Algoritmy automatické detekce vad povrchu jsou součástí programového vybavení popsaného měřicího zařízení. Jako základ automatické detekce vad vyvíjíme metody detekce významných bodů a klasifikace na základě obrazové informace. Pokračujeme proto ve výzkum možností strukturních a ordinálních klasifikátorů.

V roce 2014 jsme pokračovali také ve vývoji metod strojového učení „ordinal regression“ klasifikátoru z částečně anotovaných dat. Navrhli jsme „interval-insensitive“ ztrátovou funkci, která definuje rozdíl mezi výstupem klasifikátoru a částečně anotovanými daty ve formě intervalů přípustných klasifikací. V rámci projektu jsme navrhli několik náhrad ztrátové funkce, které mohou být optimálně řešeny metodami konvexní minimalizace. Experimenty standardních testovacích databázích i praktické aplikace ukazují, že učení „ordinal regression“ klasifikátoru na částečně anotovaných datech je plně porovnatelné s klasickými metodami učení na úplně anotovaných datech. Jednou z aplikací je také odhadování věku osoby z fotografie tváře, kde využíváme k učení člověkem ne zcela přesně anotovaná data. Tento výzkum byl prezentován na konferenci ACML 2014 [1].

V roce 2014 jsme se nadále věnovali rozšiřování a dalšímu vývoji naší knihovny CLANDMARK, pro detekci významných bodů (landmarks) v obraze. Tato C++ knihovna implementuje detekci významných bodů na základě deformovatelných modelů částí obrazu, které jsou učeny na z dat pomocí SVM klasifikátoru se strukturovaným výstupem. V knihovně CLANDMARK může uživatel snadno definovat typ příznaků, konfiguraci jednotlivých významných bodů či ztrátovou funkci. Po provedení trénování lze pak snadno získat vlastní detektor strukturně uspořádaných významných bodů. V roce 2014 byl implementován rychlý výpočet příznaků, což vedlo ke zrychlení výpočtu až o 40% oproti předešlé verzi. Dalšího zrychlení bylo dosaženo novou implementací transformace vzdálenosti, která se projevuje při řešení „max-sum“ problému (součást učení) pomocí stromu.

Použití knihovny je dokumentováno realizací detektoru významných bodů na lidské tváři při jejím různém natočení. Souběžně je odhadován jak směr pohledu, tak i množina významných bodů odpovídajících předpokládanému směru pohledu. Pro zrychlení detekce je navržený detektor

kombinován s obecným detektorem tváří, který poskytuje prvotní odhad jejich umístění. Příklad výsledku detekce je na obrázku (Obr. WP7.3). Výsledky tohoto vývoje byly připraveny jako příspěvek na workshop „Biometrics in the Wild 2015 (BWild 2015)“ při konferenci „Face & Gesture 2015“. S detektorem významných bodů na tváři se také účastníme v probíhající soutěži obdobných detektorů „300 Face in the Wild Challenge (300-W)“.



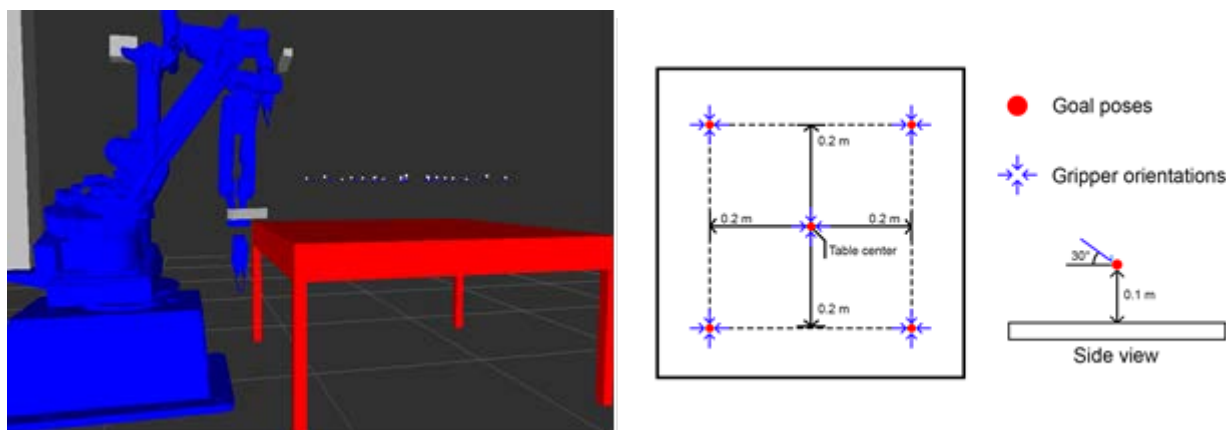
Obr. WP7.3. Příklady výstupu detektorů tváří. Žluté čtverce označují tváře detekované obecným detektorem tváří. Červené body ukazují umístění významných bodů, modré čáry reprezentují strukturu grafu využíteho pro detekci směru pohledu. Výsledek detekce směru pohledu je zapsán fialově nad detekovanou tváří.

Vývoj reflekteometrického měřicího prototypu a jeho nasazení v aplikaci

Nadále pokračoval vývoj měřicího zařízení s cílem jeho přípravy pro nasazení v průmyslových podmínkách. Vývoj se v tomto období soustředil zejména na podpůrné programové vybavení, které by mělo umožnit návrh konkrétního systému a případně plánování jeho polohování nad měřeným povrchem. Vyvíjeny byly také algoritmy detekce významných bodů a rozpoznávání, které jsou využívány i v dalších aplikacích.

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

Bylo realizováno programové vybavení pro pracoviště s dvourukým manipulátorem. Toto programové vybavení je reprezentované SW knihovnami v prostředí ROS (Robot Operating System) a umožňuje koordinovaný pohyb rukou manipulátoru a manipulaci s objekty. Již dříve jsme se podíleli na implementaci pohybu rukou při dodržení podmínky vzájemné polohy. V roce 2014 jsme se zaměřili na vylepšení algoritmů plánování pohybu. Plánování probíhá v 13-ti rozměrném nelineárním prostoru kloubových souřadnic. Otestovali jsme metody plánování v knihovně OMPL (Open Motion Planning Library). Pro testování jsme použili konfigurace manipulátoru, které odpovídají manipulaci s látkou nad stolem. Protože jsou plánovací algoritmy většinou založeny na náhodném prohledávání, test pro každou konfiguraci jsme prováděli opakovaně, aby bylo možné statisticky vyhodnotit výsledek. Pozice manipulátoru jsou zachyceny na obrázku (Obr. WP7.4). Nejlepší výsledky z hlediska rychlosti a úspěšnosti i ve složitějších situacích poskytuje algoritmus RRT Connect (modifikace algoritmu Rapidly-exploring Random Trees).



(a)

(b)

Obr. WP7.4. Testování plánovacích algoritmů: a) počáteční poloha pod úrovní desky stolu, b) umístění cílových poloh nad deskou stolu.

Na základě provedeného testu jsme se rozhodli pro vývoj upraveného algoritmu RRT Star. Naše úprava spočívá v omezeném zapomínání již prohledaných stavů. Využitím zaznamenaného grafu můžeme zvýšit rychlost i úspěšnost plánování. Současně jsme zkombinovali tento algoritmus s lineární interpolací v kloubových souřadnicích. Lineární interpolace je rychle ověřitelným řešením v jednoduchých úlohách. To nám umožňuje v takových případech zrychlit plánování. Upravený algoritmus dosahuje vyšší úspěšnosti a poskytuje kratší trajektorii při krátkém výpočetním čase (0.25s). Výsledky testování a modifikace algoritmu jsou popsány ve výzkumných zprávách [2, 3].

Výzkum a vývoj v kognitivní 2 ruké manipulaci se zpětnými vazbami

V tomto roce jsme se také podíleli na úpravě algoritmu pro zpětnovazební řízení. Zpětnovazební smyčka se zde uzavírá od snímače přes řídicí algoritmus na úrovni modulu uvnitř ROS až k řídicímu systému manipulátoru, který realizuje pohyb. Použití nového ovladače manipulátoru se podařilo zkrátit cyklus zpětnovazební smyčky z 500ms na 100ms. Vzorovou implementací zpětnovazebního řízení manipulátoru je realizace poddajného ramene na základě měření silového senzoru. Zkrácení cyklus zpětnovazební smyčky jsme doplnili výpočtem délky a rychlosti

pohybu na základě působící síly. Výsledkem je poddajný manipulátor, který již vytváří pocit přirozeného vedení rukou operátora.

Metody detekce významných bodů a rozpoznávání ve spojení s 2 rukou manipulací s látkou byly prezentovány na konferenci IROS 2014 a TAROS 2014 [7, 8].

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

V uplynulém období jsme pokračovali na vývoji a implementaci algoritmů SLAM (současné mapování a lokalizace) na pásovém robotickém vozidle. Robotické vozidlo je určeno pro využití v rámci hasičských a záchranných sborů. Cílem vývoje je autonomní pohyb vozidla v troskách budov (následky zemětřesení či požáru), kolejišti (vlakové neštěstí), venkovním prostředí s překážkami.

Pro lokalizaci a mapování jsou využity údaje z inerciální navigační soustavy, které jsou kombinovány s obrazovou informací z kamer (2D) a laserového dálkoměru (3D). V rámci algoritmů SLAM jsou použity algoritmy pro detekci významných bodů a rozpoznávání jednoduchých objektů. Praktickým využitím algoritmů učení a rozpoznávání je automatické přizpůsobení konfigurace pásů vozidla projížděnému terénu. Výsledky tohoto výzkumu byly prezentovány na konferenci ICRA 2014 [9].

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

Pokračujeme ve výzkum a vývoj v oblasti využití strukturního rozpoznávání pro vkládání rukou kreslených grafických náčrtků, diagramů či matematických vzorců do počítače. Naším cílem je vyvinout algoritmy, které budou rozpoznávat dané grafické prvky přímo při kreslení. Například tak bude možné zapsat matematický vzorec rukou (na tabletu) v obvyklé grafické podobě a ten bude souběžně automaticky převeden do formalizovaného. V minulém roce byl vyvinut algoritmus pro rozpoznání rukou kreslených náčrtků, které jsou interpretovány na základě kombinatorické optimalizační úlohy max-sum. Tento algoritmus nyní rozšiřujeme pro vstupování komplexnějších náčrtků (více symbolů) a zápis matematických vzorců. Tento vývoj nebyl zatím dokončen, a proto nebyly v roce 2014 jeho výsledky veřejně prezentovány.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Reflektometrie, funkční vzorek

Vyvinuli a sestavili jsme měřicí zařízení pro detekci defektů na lesklém povrchu. Měřicí zařízení tvoří osvětlovač (LCD panel) a kamera. Měřicí zařízení bylo namontováno na manipulátor. Tím bylo zajištěno rozšíření jinak poměrně omezeného prostoru měření. Připravili jsme také programové vybavení, které implementuje metody zpracování obrazu pro detekci hledaných vad povrchů.

2c Dílčí výstupy

Reflektometrie, demonstrace funkčního vzorku

Vyvinuli jsme funkční vzorek měřicího zařízení pro kontrolu lesklých povrchů. Funkčnost systému jsme ověřili měřeními malých součástí, které nám poskytl potenciální zákazník. Měřicí systém je funkční a to jak po mechanické tak programové stránce. Vady na dodaných dílech byl schopen spolehlivě detekovat v rozsahu požadované budoucím zákazníkem.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Výsledky dle kategorií RIV nebyly plánovány. Některé z vyvíjených metod a algoritmů však byly prezentovány formou 4 příspěvků na vědeckých konferencích [1, 7, 8, 9]. Vzniklo také 5 technických zpráv [2, 3, 4, 5, 6]. Tyto příspěvky budou zařazeny do databáze RIV.

[1] K. Antoniuk, V. Franc, and V. Hlavac. Interval Insensitive Loss for Ordinal Classification. In *proceedings of Asian Conference on Machine Learning (ACML2014)*. Nha Trang, Vietnam, November 2014.

[2] Tom Jankovec and Vladimír Petřík. OMPL Path-Planning Algorithms -- A Usage Suitability Study. Research Report CTU-CMP-2014-23, *Department of Cybernetics, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University, Prague, Czech Republic*, December 2014.

[3] Tom Jankovec and Vladimír Petřík. OMPL RRTstar Planner Modification. Research Report K333-50/14, CTU-CMP-2014-24, *Department of Cybernetics, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University, Prague, Czech Republic*, December 2014.

[4] Lukáš Koucký and Vladimír Smutný. Visibility of Triangulated Surface Illuminated by Flat Light Panel. Master's thesis, *Department of Cybernetics, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University, Prague, Czech Republic*, May 2014.

[5] Vladimír Smutný and Pavel Krsek. The measurement of the flames in the combustion chamber. Research Report K333-50/14, CTU-CMP-2014-19, *Department of Cybernetics, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University, Prague, Czech Republic*, November 2014.

[6] Matěj Straka and Vladimír Smutný. Extension of ladok sw: Traces tails. Research Report K333-49/14, CTU-CMP-2014-14, *Department of Cybernetics, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University, Prague, Czech Republic*, August 2014.

[7] Jan Stria, Daniel Průša, Václav Hlaváč, Libor Wágner, Vladimír Petřík, Pavel Krsek, and Vladimír Smutný. Garment perception and its folding using a dual-arm robot. In Wolfram Burgard, editor, *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2014*, pages 61-67, USA, September 2014. IEEE Computer Society.

[8] Jan Stria, Daniel Průša, and Václav Hlaváč. Polygonal models for clothing. In M. Mistry, A. Leonardis, M. Witkowski, and C. Melhuish, editors, *Advances in Autonomous Robotics Systems, 15th Annual Conference, TAROS 2014*, number 8717 in LNAI, pages 173-184, New York, USA, September 2014. Springer.

[9] Karel Zimmermann, Petr Zuzánek, Michal Reinstein, and Václav Hlaváč. Adaptive traversability of unknown complex terrain with obstacles for mobile robots. In Lynne Parker, editor, *ICRA2014: Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 5177-5182, USA, June 2014. IEEE Robotics and Automation Society.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Na základě výše popsaného postupu řešení a s ohledem na plánované činnosti v roce 2014 můžeme konstatovat, že prováděné činnosti byly vykonány v souladu s plánem a bylo dosaženo plánovaných dílčích cílů. V rámci řešení úkolů pracovního balíčku 7 úzce spolupracuje vývojový tým ČVUT s týmem společnosti Neovision, s.r.o., která je členem konsorcia a klíčovým průmyslovým partnerem. Spolupráce probíhá také s pracovištěm VUT Brno, kde řeší pracovní

balíček 8 (Kamerové zařízení a metody analýzy obrazu pro monitorování dopravy a v průmyslu), a s vývojovým týmem řešícím pracovní balíček 6 (Komponenty robotického systému interakce člověk-stroj).

V roce 2015 budeme pokračovat ve výzkumu i ve vývoji ve stejných tematických oblastech jako v tomto roce. V příštím roce by mělo být připraveno zařízení pro reflektometrické měření povrchu těles pro reálné nasazení v průmyslu. Dosažení tohoto cíle však bude do značné míry závislé na spolupráci cílového zákazníka. Nezávisle na tom však plánujeme pokračovat ve vývoji tohoto měřicího zařízení v úzké spolupráci týmu ČVUT a Neovision, s.r.o. Dále chceme rozvíjet téma plánování trajektorie 2 rukého manipulátoru a jeho zpětnovazebního řízení s použitím údajů ze senzorů. V souladu s plánem budeme také pracovat na rozpoznávání s pomocí 2D gramatik a algoritmech SLAM.

Pracovní balíček 8 – Kamerová zařízení a metody analýzy obrazu pro monitorování dopravy a v průmyslu

1 Popis činnosti

Návrh a implementace metod analýzy obrazu řidiče

Tato činnost byla podle plánu v daném roce zahájena i ukončena. Realizace činnosti využívala vlastní platformu pro pořízení obrazu v dopravních aplikacích, konkrétně pro pořízení a zpracování obrazu řidiče za jízdy v reálném čase. Tato platforma využívá kamer Allied Vision Technologies s rozhraním GigE a napájením PoE vhodnou pro robustní a zejména mobilní způsob pořízení obrazu za jízdy. Nejprve byl z hlediska dopravní bezpečnosti proveden zkušební test pořízení obrazu za jízdy na odstavné ploše a následně v několika oddělených měřeních byly pořízeny testovací galerie zatím spíše menšího rozsahu (řádově jednotky tisíc snímků, při snímkovací frekvenci 32 FPS jde o krátké cesty do 1 hod., u nichž se relativní pokles únavy řidiče neprojeví nebo jen velmi málo). Na základě těchto galerií byla provedena nejprve subjektivní analýza chování řidiče a poté analýza obrazových dat z hlediska dalšího zpracování (filtrace šumu, segmentace řidiče, lokalizace anatomických částí a stabilita sledování únavových příznaků). Navržené/nastudované metody byly po částech implementovány paralelně ve dvou výpočetních prostředích podle specifické potřeby konkrétní metody či techniky (Matlab s využitím Image Processing Toolbox a Visual Studio s využitím OpenCV knihovny). Nad vstupními obrazovými daty z galerie snímků byla provedena analýza obrazu z hlediska jejich uniformnosti (jasové korekce a transformace), protože na reálných snímcích se vlivem okolního prostředí mohou měnit jasové poměry velmi dramaticky. V dalším kroku se částečně re-implementovaly/modifikovaly a analyzovaly výsledky metod pro extrakci únavových charakteristik řidiče – zavedené příznaky jako Eyes Closure Duration, Blink Frequency a nejpoužívanější Perclos. Poslední část činnosti se věnovala rozboru časových řad těchto příznaků, jejich filtraci a analýze za účelem automatického určení relativní míry únavy řidiče za jízdy. Dosavadní výsledky jsou zatím dobré, hlavně z hlediska přesnosti lokalizace anatomických částí řidiče i extrakce příznaků a předpokládá se, že během činnosti plánované na další období bude zvýšena hlavně stabilita sledování zájmových bodů jako poslední část systému, která je doposud spíše průměrná.

Získávání obrazových dat testovacími jízdami a modifikace technik pořízení a zpracování obrazu

Tato plánovaná činnost byla zahájena v roce 2014 a podle původního předpokladu bude pokračovat i v roce 2015. Už z názvu je patrné, že jde o následníka předchozí činnosti „Návrh a implementace metod analýzy obrazu řidiče“, se kterou se časově mírně překrývá, nutně ale využívá jejich poznatků/výstupů. Během činnosti tj. při pořizování vstupních obrazových dat byly několikrát modifikovány rutiny pořízení obrazu, hlavně v souvislosti s automatickým a semi-automatickým nastavením expoziční doby kamery a souvisejících parametrů (gain, offset příp. binning a další). Obdobně byly modifikovány metody zpracování obrazu realizující zejména segmentaci řidiče a extrakci únavových charakteristik. Hlavní váha činnosti leží na vytvoření rozsáhlé galerie obrazových dat řidiče za jízdy, kdy nejvíce ceněné jsou hlavně dlouhé kontinuální úseky, na nichž se znatelně projevuje změna pozornosti řidiče. Takové úseky (jízdy) jsou však logicky mnohem méně časté, přesto lze vysledovat dobré výsledky detekce únavových příznaků už u sekvencí s trváním jedné hodiny a delší. Činnost bude pokračovat v dalším období, kdy se už méně budou upravovat samotné metody pořízení obrazu a řízení kamerové platformy a více pořizovat rutinní data.

Design a programová implementace měření rozměru a tvaru pro průmyslovou inspekci

Tato činnost byla zahájena i ukončena ve sledovaném období a sestávala z implementace aplikace pro rychlé, spolehlivé a přesné měření průmyslových výrobků podle běžných zásad

průmyslové inspekce. Při implementaci bylo využito znalostí z několika předchozích výsledků pracovního balíčku např. z realizace systému pro automatické vyhodnocení materiálové segregace, z realizace měření profilu jeřábových kol a zejména využitím vlastní navržené a implementované knihovny pro zpracování obrazu v průmyslových aplikacích ImProc). Za zmínku stojí také realizována úloha pro průmyslové měření aktivity vodních organismů ve vodní lázni pro stanovení kvality vody v čistírnách odpadních vod a podobných provozech. Obdobné, zejména méně tradiční, úlohy průmyslové inspekce pomáhají vytvořit univerzální a dostatečně použitelný nástroj pro automatickou vizuální kontrolu z hlediska měření rozměrů, tvaru, celistvosti, polohy, orientace, rychlosti apod. Navržená aplikace byla implementována v prostředí Visual Studio za využití již zmíněné knihovny zpracování obrazu OpenCV a vlastní knihovny ImProc. Realizace aplikace je průběžně doplňována o další metody/možnosti měření a částečně modifikována (hlavně GUI). Tak, jak byla činnost specifikována v projektové dokumentaci, byla i splněna.

Všechny uvedené činnosti byly průběžně vykonávány a realizovány za přispění obou partnerů tj. tým na instituci Vysoké učení technické v Brně se zaměřením na aplikovaný výzkum a tým ve společnosti Camea se zaměřením na experimentální vývoj.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Nebyly plánovány.

2c Dílčí výstupy

Nebyly plánovány.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Nebyly plánovány.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V roce 2015 je v pracovním balíčku plánován milník „Rozvinuté technologie kamerových systémů“, dokončení dvou činností, plánovány tři dílčí cíle navazující na předchozí výsledky a dva dílčí výstupy. Vzhledem k dosavadnímu průběhu řešení pracovního balíčku bez kritických problémů a s přihlédnutím ke stabilním pracovním týmům na obou spolupracujících institucích (Vysoké učení technické v Brně a Camea s.r.o.) lze očekávat řešení v předpokládané skladbě a objemu. Z technické stránky se daří plnit činnosti a výsledky podle časového harmonogramu a v tuto chvíli nejsou známy žádné materiální ani personální překážky zabraňující zdárnému dokončení cílů pracovního balíčku.

Pracovní balíček 9 – Expertní systém pro projektování RFID aplikací

1 Popis činností

Návrh a tvorba UI internetový portál RFID Expert. Návrh struktury databáze referenčních řešení

U spoluřešitele VŠB-TUO byly v rámci této činnosti řešeny následující konkrétní úkoly:

- Analýza možnosti využití formálních znalostníchází, které jsou strojově zpracovatelné s cílem na obecné úrovni zachytit následující prvky ve formálním systému:
 - o Základní pojmy v oblasti RFID projektů (třídy, podtřídy a individua)
 - o Základní vztahy mezi pojmy
 - o Logické vztahy mezi jednotlivými třídami a množinami
 - o Zaznamenání individuálních případů z realizovaných projektů
 - o Metodiku zpracování sesbíraných informací s pomocí technologických pluginů pro aplikace
- Tvorba modelu znalostní báze RFID pomocí deskripční logiky (DL, Description Logic) v podobě OWL-DL (Web Ontology Language). Tento model zachycuje všechny prvky databáze pro řešené projekty a vazby mezi nimi.
- Model lze vhodně použít jako vhodnou dokumentaci části struktury databáze, která je zodpovědná za uchování dat referenčních řešení.
- Implementace struktury databáze referenčních řešení v MySQL, protože s ohledem na relativně jednoduchou strukturu databáze je použití OWL zbytečně komplikované. Navržena byla s ohledem na snadnou rozšiřitelnost a variabilitu. Umožňuje např. tzv. tagy (štítkování), kdy je možno k projektu zadat i více rozdílných vlastností.

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

- Korespondenční i osobní jednání s výrobcí RFID tagů
- Implementace poznatků do struktury inteligentní databáze a vyhledávacích algoritmů
- Úpravy inteligentní databáze a grafického rozhraní pro přístup uživatelů
- Korespondenční i osobní jednání s implementátory RFID řešení
- Implementace poznatků do návrhu struktury systému RFID EXPERT a vyhledávacích/analytických algoritmů
- Ukončení vývoje rozhraní pro update RFID databáze na základě dat od výrobců RFID komponent
- Kontinuální vývoj konfigurátoru SMARTLABEL jako navazující krok po využití inteligentní databáze
- Vývoj funkčního vzorku RFID tagu s napájením v pásmu 802.11n
- Analýza a příprava k realizaci 3D modelu čtecího pole RFID tagu v reálném prostředí
- Vývoj nástroje pro generování EPC kódu a jeho implementace do struktury RFID EXPERT
- Pokračující analýza a spolupráce na přípravě norem VDO ve spolupráci s koncernem VW pro potřeby inteligentní databáze a expertního systému.
- Spolupráce na revizi normy GS1 EPC V2.0 a integrace pro do expertního systému.

Tvorba analytických nástrojů pro usnadnění výběru vhodné technologie RFID

U spoluřešitele VŠB-TUO byly v rámci této činnosti řešeny následující konkrétní úkoly:

- Kalkulátor celkové energetické bilance – neboli celková energetická bilance trasy čtečka – tag je dána sečtením všech zisků a ztrát od vysílací části čtečky, přes medium (vzduch) a tag, a zpět k přijímací části čtečky. Viz <http://rfidexpert.vsb.cz/kalkulator-celkove-bilance>

- Kalkulátor ztráty volným prostorem - volný prostor je ideální vakuový prostor (ideální prostředí) pro šíření elektromagnetické vlny. Viz <http://rfidexpert.vsb.cz/ztraty-volnym-prostorem-fsl>
- Kalkulátor teoretického dosahu UHF RFID tagu z isotropického vysílače - dosah čtení UHF tagu se pohybuje od několika milimetrů až do řádu desítek metrů. Viz <http://rfidexpert.vsb.cz/kalkulator-teoretickeho-dosahu-tagu>

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

- Úpravy ROI analýzy použitých komponent RFID řešení

Prototyp Internetového portálu, plnění primárních dat do databáze referenčních řešení

U spoluřešitele VŠB-TUO byly v rámci této činnosti řešeny následující konkrétní úkoly:

- Portál rfidexpert.vsb.cz je rozdělen na několik částí. Přehledy čipů, inlayů, výběr s pomocí experta, analytické nástroje, teorii, dotazník a administrační sekce (přístupná po přihlášení). Přehledy čipů a inlayů jsou stránky, na kterých je tabulka s produkty a jejich vlastnostmi. Stránky obsahují funkce pro filtrování a řazení výsledků podle jednotlivých sloupců. Databáze nyní obsahuje 32 čipů a 146 inlayů.
- Je připravena i obsáhlá nápověda a slovník pojmů, které budou v nejbližší době přidány na portál.
- Plnění dat referenčních řešení probíhá podobně jako plnění dat pro jednotlivé produkty. V administraci lze 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.

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

- Zahájení plnění dat do databáze referenčních řešení

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Nebyly plánovány.

2c Dílčí výstupy

Nebyly plánovány.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Nebyly plánovány.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Souhrn a výhled

Práce probíhají v souladu s plánovaným harmonogramem.

Obsah plánovaných činností je po spuštění první fáze expertního systému upravován na základě zpětné vazby od existujících i potencionálních uživatelů systému. Dochází tak k naplňování hlavního cíle projektu – poskytnout koncovým uživatelům nástroj, který zefektivní jejich rozhodování.

Kromě získání databáze referenčních řešení pro potřeby vývoje expertního systému bylo takřka u všech implementátorů zjištěno, že instalace RFID technologie do skutečných podnikových

procesů vyžadují enormní a neplánované vícenáklady, způsobené rozdílných chováním RFID technologie v různých reálných prostředích. U více než 25% instalací vedly k předčasnému ukončení projektu. Jedním z cílů systému RFID EXPERT musí být zamezení těmto vícenákladům.

Výzkumné poznatky a požadavky uživatelů a vyústily k těmto činnostem:

1. upravit design webového rozhraní databáze RFID EXPERT
2. vytvořit nástroj na definici struktury paměti RFID tagu dle normy GS1 EPC
3. vytvořit nástroj na modelování 3D čtecího pole RFID tagů s ohledem na reálné prostředí
4. zkoumat možnosti spojení výhod aktivních a pasivních RFID tagů

Všechny upravené činnosti jsou v souladu s původně definovanými výzkumnými cíli pracovního balíčku a přispívají k lepšímu využití jeho výsledků.

1. V roce 2014 byla kromě plánovaných činností věnována pozornost i úpravě již hotových výsledků z let 2012-2013. Šlo zejména o aktualizaci databáze RFID EXPERT a její kontinuální zlepšování. Byl proveden re-design grafického rozhraní, doplněny a aktualizovány výpočtové algoritmy jednotlivých appletů a zjednodušení konfigurátoru etiket s RFID tagem. Kontinuálně je doplňován výkladový slovník RFID pojmů a došlo k vytvoření dvou jazykových mutací (CZ a ENG). Průvodce výběrem byl rozdělen na dvě části podle technické úrovně uživatelů.
2. Na základě ohlasů od uživatelů byla v roce 2014 věnována část kapacity na výzkum normy GS1 EPC, včetně její nové verze 2.0. Vzhledem k tomu, že se jedná zatím o jedinou komplexní normu, popisující strukturované využití paměti RFID tagu, ukázalo se jako nezbytné předřadit vysvětlení a aplikaci této normy před jakékoliv další kroky vyvíjeného expertního systému. Výsledkem je jednak nová část expertního systému aplikujícího normu GS1 EPC a zejména nový modul na generování EPC kódu pro uživatele expertního systému. Tento je vysoce hodnocen uživateli z řad koncových uživatelů i vývojářů.
3. Na základě intenzivních jednání se stávajícími i potencionálními uživateli systému RFID EXPERT bude expertní systém doplněn model 3D čtecího prostoru pomocí matice výsledků měření reálné odezvy tagů v prostředí s různými reálnými překážkami. Bude vytvořen rastr 3D prostoru s požadovanou roztečí bodů a v každém z nich bude proměřen signál, kterým odpovídá etalonový RFID tag vysílacímu anténnímu systému. Etalonem bude aktivní RFID tag, který umožní proměřit i ta místa, kde je vysílací výkon čtecího zařízení pod limitem, který je nutný pro vybuzení RFID tagu. Takto vzniklé grafické vyjádření výrazným způsobem usnadní plánování RFID systému pro koncové uživatele.
4. Na základě zjištěných skutečností a potřeb trhu zvažuje řešitelský tým zahájení prací na vývoji RFID tagu, který bude díky absorpci energie z různých vlnových spekter spojuvat výhody pasivních i aktivních RFID tagů. Jeho předpokládané využití bude zejména v oblasti zdravotnictví.

Byly zahájeny přípravy na spolupráci se sdružením největších světových výrobců RFID RAIN, která umožní získávat aktuální informace o připravovaných změnách všech norem a předpisů z oblasti RFID technologie.

Dosavadní přínosy

Pro uživatele systému RFID EXPERT jde především o úsporu následných vyžádaných nákladů, které vznikají při implementaci RFID technologií u zákazníků. 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 tisíc Kč. 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.

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

Rizika

Hlavním rizikem stále zůstává překotný vývoj nových vlastností RFID tagů, zejména vytvoření nových standardů a norem (např. normalizovaná struktura paměti a RFID tagy s externími čidly), které by mohly narušit koncepci řešení. Toto riziko 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.

Pracovní balíček 10 – Nástroje pro optimalizaci výrobních a lidských zdrojů

1 Popis činnosti

Nástroj pro optimalizaci výroby

Prototyp nástroje vyvinutého v roce 2013 byl postaven na konzolové aplikaci, která je nejvhodnější pro první verze, ale není příliš vhodná pro finální podobu nástroje určenou koncovým zákazníkům. V konzolovém nástroji bylo možné měnit vstupy pouze pomocí soustavy konfiguračních souborů. Za tímto účelem byl v roce 2014 vytvořen návrh a následně implementován webový nástroj, který lze používat z libovolného pomocí webového prohlížeče. To obnášelo návrh architektury nástroje včetně jeho datové infrastruktury a modelu událostí, které v nástroji mohou nastávat.

Do nástroje se uživatelé přihlašují prostřednictvím protokolu HTTPS (zajišťujícího kryptovaný přenos dat) pomocí uživatelského jména a hesla. Přihlášení opravňuje uživatele využívat veškeré funkce nástroje, které budou přehledně členěny v horní části obrazovky v podobě menu.

Nástroj je koncipován s ohledem na jeho maximální jednoduchost. Pro snadné nastavení vstupů slouží sekce Nastavení. V této části je možné nastavit např. délku dopravníku. Dále je možné nastavit poruchy na jednotlivých strojích, které zajistí korektní vyhodnocení s ohledem na celý výrobní proces daného artiklu. V tomto případě se nastavuje čas začátku a předpokládaný čas konce poruchy konkrétního stroje.

Dále je nutné zvolit časové okno, ve kterém se má optimalizace výroby provádět. Po jejím spuštění se spustí algoritmus pro optimalizaci výroby a na obrazovce je zobrazena stavová informace o prováděné optimalizaci.

Výsledky optimalizace výroby je možné zobrazit v podobě textového výpisu, který obsahuje přesné hodnoty dob strávených v jednotlivých stavech na každém zařízení. Druhým typem výstupu je vizualizace, která přehledně zobrazuje jednotlivé bloky odpovídající časům výroby na jednotlivých zařízeních. Vizualizaci je možné zobrazovat v různých měřítkách a zároveň se posouvat po časové ose.

Nástroj je navrhován a realizován ve spolupráci se společností Procter & Gamble, která poskytuje zpětnou vazbu při vývoji této části balíčku.

Další oblastí, kterou jsme se začali koncem roku 2013 zabývat je vytvoření knihovny algoritmů pro rozvrhování výroby. Optimalizace výrobních plánů plynule navazuje na výsledky dosažené na úrovni řízení strojů a je dalším krokem pro zvýšení efektivity výrobního procesu jako celku.

Nástroj pro rozvrhování lidských zdrojů

V rámci optimalizace lidských zdrojů byl navržen nástroj, který pomáhá v usnadnění práce osobám zodpovědným za vytváření rozvrhu směn, to jest přiřazení směn jednotlivým zaměstnancům v daném časovém období. Mnoho rozvrhářů navrhuje rozvrh ručně a to buď metodou tužka-a-papír, nebo využijí tabulkové procesory. Ruční návrh je práce zdouhavá, pracná a náchylná k chybám – rozvrhář musí vyvažovat či dodržovat určité požadavky, např. pracovní vytížení zaměstnance by mělo odpovídat jeho pracovnímu úvazku, dodržovat požadované pokrytí směn a omezení daná zákoníkem práce. Nástroj usnadní rozvrháři jeho práci tím, že tyto požadavky hlídá a v případě, že detekuje jejich porušení, tak o tom informuje rozvrháře. Nástroj je koncipován tak, aby umožnil kombinovat manuální a automatický návrh rozvrhu. Rozvrhář může např. využít automatický návrh pro vytvoření počátečního rozvrhu, který následně může upravit a pokud později nastane situace, ve které nemůže nějaký zaměstnanec odpracovat směnu jemu přiřazenou, je možné opětovně použít nástroj pro optimalizaci rozvrhu.

Nástroj je koncipován jako webová aplikace, do které se uživatel přihlašuje přes webový prohlížeč a komunikuje se serverem pomocí kryptovaného protokolu. Využití webových technologií má tu výhodu, že uživatel může s nástrojem pracovat z libovolného zařízení (např. stolní počítač,

tablet), které má moderní webový prohlížeč s podporou JavaScriptu. Uživatelé mají přidělené role určující, ke kterým datům mají přístup, např. rozvrhář může měnit rozvrh, zaměstnanec je oprávněn pouze k prohlížení aktuálního rozvrhu apod.

Pro využívání nástroje je nutné, aby byla rozvrhářem zadána tato data:

- seznam zaměstnanců a jejich informace: jméno, titul, pracovní úvazek.
- seznam směn včetně jejich vlastností: začátek a konec směn, délka směny, náplň směny
- kvalifikace zaměstnanců: u každého zaměstnance lze definovat, zda má kvalifikaci pro danou směnu. Kvalifikace může nabývat hodnot „Ano“ (zaměstnanec může sloužit danou směnu), „Ne“ (zaměstnanec nemůže sloužit danou směnu) nebo „V nouzi“ (zaměstnanec může sloužit směnu, pokud není jiná možnost).
- požadované pokrytí směny: u každé směny v každém dnu daného rozvrhovacího období lze definovat, kolik zaměstnanců musí minimálně/maximálně danou směnu sloužit.
- fixní směny: v některých případech je vhodné některou směnu zafixovat pro některého zaměstnance. V takovém případě algoritmy implementované v nástroji nemohou zadanou směnou hýbat.

Tvorba samotného rozvrhu rozvrhářem je intuitivní a kombinuje manuální a automatický návrh. Rozvrh je reprezentován dvourozměrnou tabulkou, kde řádky představují jednotlivé zaměstnance a sloupce představují dny v časovém období, pro které se rozvrh navrhuje. Směny lze zaměstnancům přiřadit tak, že se označí buňka v tabulce a vybere se příslušná směna v panelu nástrojů (je samozřejmě možné označit i více buněk). Směny lze také přesouvat mezi zaměstnanci pomocí drag-and-drop. Smazat směny ve výběru lze buď zmáčknutím klávesy Delete na klávesnici nebo vybráním volby „Smazat“ v panelu nástrojů. Nástroj je navržen pro různé metody vstupu, není tedy problém ovládat nástroj pomocí kombinaci klávesnice-myš nebo na dotykové obrazovce.

Velkou výhodou nástroje je právě kombinace manuálního a automatického návrhu rozvrhu, který je prováděn rychlým heuristickým algoritmem. Automatický návrh lze využít pro vytvoření rozvrhu, který operátor může dále upravovat. Při návrhu je zohledněno nejenom požadované pokrytí směn a schopnosti zaměstnanců, ale i jejich pracovní úvazek, rozmístění směn do ucelených pracovních bloků (nástroj se snaží směny shlukovat do bloků a podobné se snaží také kumulovat počet dní volna za sebou), rovnoměrné rozdělení víkendových služeb mezi zaměstnance apod. Pokud je zapotřebí, aby některá směna nebyla automatickým návrhem přesouvána či mazána, lze ji (dočasně) zafixovat. Nástroj také provádí na pozadí validaci aktuálního rozvrhu, rozvrhář je tedy okamžitě informován v případě, kdy došlo v rozvrhu k nějakému problému, např. nejsou pokryty některé směny v daném dnu nebo není dodržena minimální doba odpočinku mezi směnami dle zákoníku práce.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Nebyly plánovány.

2c Dílčí výstupy

Nebyly plánovány.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Nebyly plánovány.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

Na základě uvedených skutečností lze konstatovat, že v rámci pracovního balíčku nedošlo k žádným neočekávaným prodlevám či neplnění stanoveného plánu. Činnosti plánované na letošní rok probíhaly v souladu s návrhem projektu.

V příštím roce očekáváme dokončení řešení balíčku v souladu se stanoveným plánem, pracovní činnosti budou navazovat na dosud dosažené výsledky. V případě nástroje pro rozvrhování lidských zdrojů to obnáší testování uživatelského rozhraní a následně z testování vyplynoucí finální úpravy, které učiní nástroj maximálně přívětivým z hlediska jeho uživatelů. Do nástroje budou integrovány rozvrhovací algoritmy běžící na serveru, které budou zároveň testovány v různých konfiguracích na benchmarkových instancích. V případě nástroje pro optimalizaci výroby se bude pokračovat v implementaci tohoto nástroje na základě vyspecifikované podoby. Po dokončení implementace bude následovat finální testování a případné úpravy, které musí učinit nástroj maximálně přehledný a snadno ovladatelný.

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

Pracovní balíček 11 – Softwarové moduly pro monitorování a řízení s využitím modelů průmyslových procesů

1 Popis činnosti

Algoritmizace a implementace softwarových modulů pro monitorování a řízení průmyslových procesů (leden 2014 - září 2015)

V této stěžejní činnosti roku 2014 byla v jednotlivých AO řešena následující témata výzkumu a vývoje:

AO1: Návrh a realizace SW pro monitorování a řízení procesů chlazení ocelových plechů a pásů

V této oblasti byly v roce 2014 zahájeny práce na analýze využitelnosti matematických modelů pro monitorování a optimalizaci řízení teploty chlazení vývalku na válcovacích stolicích. Zejména byla analyzována možnost využití pozorovatele ustálených stavů teplot na válcovacích stolicích a možnost jeho následného využití pro adaptaci parametrů modelu přestupu tepla. Téma bude podrobněji řešeno v roce 2015.

AO2: Návrh a realizace SW pro subsystémy monitorování a automatického řízení válcovacích procesů

Prvním z řešených témat v této oblasti byl návrh modelů deformace válců a vývalku na čtyřválcových stolicích a jejich využití v optimalizaci procesu válcování. K popisu průhybu válců, tj. pracovního a podpůrného, byla jednak použita metodika tuhostních matic, která byla posléze konfrontována s řádově přesnějším, ale výpočetně náročnějším modelem, využívajícím metodu konečných prvků. Tento model bude následně též použit pro parametrizaci jednoduššího tuhostního modelu, který lze aplikovat pro simulaci v reálném čase a k optimalizaci parametrů procesů válcování. Druhým z řešených témat byl návrh a vývoj algoritmů pro aktivní kompenzaci excentricity válců stolice tak, aby nedocházelo k přenosu excentricity na proměnnou tloušťku plechu, a tím k snížení kvality procesu válcování. K tomuto účelu byl testován aparát Fourierových řad a rychlé Fourierovy transformace, a to pro určení periodicity očekávaných poruchových sil vznikajících díky excentricitě. Znalost těchto sil je posléze využita v algoritmu pro dopředné řízení tloušťky válcovací mezery periodickou změnou hydraulických přítlačných sil.

V dalším směru výzkumu a vývoje byla provedena analýza řídicího algoritmu pro navíječky a odvíječky, které se využívají na studených pásových válcovacích tratích za účelem dosažení dostatečně vysokého tahu pásu na vstupu a výstupu ze stolice. Cílem algoritmu řízení je zejména dosažení konstantního tahu při uvažování měnícího se průměru svitku a tím i požadovaného krouticího momentu na motoru, který je řízen frekvenčním měničem. Konstantní tah má být zajištěn i během zrychlování a brždění pohybu pásu.

AO3: Aplikace moderních algoritmů řízení pro systémy s dopravním zpožděním a systémy s rozloženými parametry

Prvním téma AO3 navazovalo na již dříve řešenou problematiku návrhu bezrozměrových parametrů PID regulátorů s předepsaným umístěním pólů [4]. Výsledky této metody byly porovnány s výsledky optimalizace podle integrálních kritérií. Přes zásadně rozdílný přístup k syntéze regulační smyčky je výsledkem srovnání poměrně jednoduchý vztah mezi oběma alternativami dosaženého chování. Dosažené výsledky byly prezentovány v konferenčním článku [1] a byly předneseny na vyzvaném workshopu Delsys' 2014, Grenoble [2].

Dalším z řešených témat, které navazovalo na výzkumná témata v předchozím roce řešení je problematika návrhu zpětné vazby „anti-windupu“ pro regulátory s dopravním zpožděním. Výsledkem v této oblasti je publikace [3]. V návaznosti na tuto publikaci byla řešena metodika jednoznačného určení parametrů zpětné vazby za účelem optimálního řízení při omezení akčního zásahu.

Třetí téma se zabývalo kompenzací vstupního zpoždění v procesu válcování. Zpoždění vzniká v důsledku umístění senzoru ve známé vzdálenosti před válcovací stolicí, kde je řízená přítlačná síla. Pro realizaci zpoždění byl modifikován dříve vytvořený SW blok dopravního zpoždění. Modifikace spočívala zejména v online adaptaci periody vzorkování v závislosti na proměnné rychlosti posuvu válcovaného materiálu.

Čtvrté téma výzkumu bylo věnováno analýze přizpůsobení přenosu systému danému modelu ("exact model matching") pomocí stavové zpětné vazby, který byl publikován v článku [5]. Konstrukce řešení spočívá na manipulaci s polynomiálními maticemi a je snadno algoritmizovatelná. Dále byl navržen postup, jak úlohu "exact model matching" rozšířit na případ, kdy stavová zpětná vazba není regulární [6]. V tomto případě existuje mnoho řešení a je potřeba mezi nimi vybrat takové, které stabilizuje výsledný systém. Takže byly odvozeny podmínky, za kterých stabilizující řešení existuje a bylo ukázáno, jak takové řešení nalézt.

AO4: Návrh a realizace SW pro subsystémy monitorování a řízení energeticky náročných procesů

Pro účely optimalizace provozu ocelářenských aplikací, jmenovitě zpřesnění řízení ohřevu elektrickým obloukem, dosažení úspory měřících sond, zrychlení ohřevu a podporu pro plánování a koordinaci taveb, byly sestaveny matematické modely procesů elektrické obloukové pece, pánvové pece a vakuové jednotky. Tyto modely predikují teplotu a materiálové složení na základě energetické a materiálové bilance (včetně oxidačního modelu) s pomocí identifikace vybraných fyzikálních parametrů, ale i počátečního stavu tavby. Odhad parametrů vychází z optimalizace přes velké množství dostupných dat z reálného běžícího procesu. Uplatňuje se krátkodobá (pro aktuální tavbu) i dlouhodobá (přes několik taveb) adaptace. Problém malého počtu měření, nepřesnosti a nedostupnosti měření, neznalosti počáteční teploty je řešen zpracováním mnoha realizací ohřevu spolu s rychlým vyhodnocením chyby modelu vzhledem k měření díky implementaci v C/C#.

Simulační testování navržených modulů (říjen 2014 - září 2015)

Byly zahájeny následné aktivity se zaměřením na simulační ověřování navržených postupů a vytvářených SW modulů. K tomuto účelu je jednak využito průběžně vytvářených modelů průmyslových procesů, které tedy neslouží pouze k návrhu (parametrizaci/optimalizaci) řídicích systémů, ale i k prvotnímu testování funkčnosti v aplikaci na modely daných technologií. Sada testovacích modelů zahrnuje různé typy pecních systémů, a postupně vytvářených prvků válcovacích procesů. Dále jsou využívány aproximační modely procesů kombinující sub-modely se soustředěnými parametry a různé typy dopravních zpoždění. K účelům testování je a dále bude též využíváno konceptu HW in the loop, kde realizovaný řídicí algoritmus je implementován na řídicím systému (např. PLC) který je spojen s PC přes vytvořené HW/SW rozhraní, kde je implementován model řízeného procesu. Využití tohoto přístupu výrazně zkracuje dobu aplikace a ladění řídicího systému na koncové průmyslové technologii.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Nebyly plánovány.

2b Dílčí cíle

Nebyly plánovány.

2c Dílčí výstupy

Nebyly plánovány.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Nebyly plánovány, nicméně některé vyvíjené postupy a algoritmy byly prezentovány na mezinárodních konferencích a vznikly tak následující výsledky typu D – článek ve sborníku:

[1] Fišer, J., Zítek, P., and Kučera, V. (2014), IAE optimization of delayed PID control loops using dimensional analysis approach. In: Proc 6th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP), 2014, 262-265, IEEE, Athens.

[2] Fišer, J., Zítek, P., Vyhlídal, T. and Kučera, V. (2014). Dominant Pole Placement and IAE Optimization of Delayed PID Control Loops Using Dimensional Analysis Approach, In: 3rd Workshop Delay Systems (Delsys'2014), Nov. 12-14, 2014, Grenoble, France.

[3] Zítek P., Bušek J., Vyhlídal T. (2014), Anti-windup Conditioning for Actuator Saturation in Internal Model Control with Delays, to appear in edited book Volume of the Springer Series Advances in Delays and Dynamics, Vol. 2.

[4] Zítek P., Fišer J. and Vyhlídal T. (2013). Dimensional analysis approach to dominant three-pole placement in delayed PID control loops, Journal of Process Control, 23(8), 1063–1074.

[5] Kučera V., Castañeda Toledo E.: A review of stable exact model matching by state feedback. Proceedings 22nd Mediterranean Conference on Control and Automation, Palermo 2014, 85-90.

[6] Castañeda Toledo E., Kučera V., Ruiz León J.: Model matching via stabilizing static state feedback. Preprints 19th IFAC World Congress, Cape Town, South Africa, 2014, pp. 4709-4714

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V následném roce řešení budou dokončeny práce na činnostech:

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

Dále budou řešeny úkoly v rámci poslední plánované činnosti balíčku 11:

- Provozní testování a kompletace navržených softwarových produktů (1. 2015 – 12. 2015)

Aktivity budou zejména směřovány ke kompletaci knihovny komplexních softwarových modulů pro monitorování a řízení technologických procesů za účelem optimalizace kvality a maximální produktivity s minimalizací nákladů na energie a materiály. Výzkum a vývoj bude pokračovat ve všech výše definovaných aplikačních oblastech válcování, modelování termodynamických jevů a pecních technologií. V řešení daných problémů průmyslové automatizace budou implementovány moderní metody odhadu provozních stavů, algoritmy řízení a parametrizace daných průmyslových procesů. Výzkum a vývoj bude směřován k naplnění druhého dílčího výstupu balíčku – 'Softwarová modulární aplikace pro monitorování a řízení', který bude též využit ve výsledku projektu V008 [R - software].

Pracovní balíček 23 – Management projektu

1 Popis činností

Tým managementu pracoval ve složení, které je uvedeno v návrhu projektu:

prof. Ing. Vladimír Kučera, DrSc., dr. h. c., manažer projektu,
prof. Ing. Michael Šebek, DrSc., koordinátor cíle 1,
prof. Ing. Vladimír Mařík, DrSc., dr. h. c., koordinátor cíle 2,
prof. Ing. Václav Hlaváč, CSc., koordinátor cíle 3,
prof. Dr. Ing. Zdeněk Hanzálek, koordinátor cíle 4,
Ing. Jaroslava Nováková, hospodářka projektu,
Monika Hübnerová, sekretářka projektu.

Řešení projektu v roce 2014 probíhalo v souladu s návrhem projektu. Uskutečnila se pravidelná jednání na všech řídicích úrovních. Tým managementu spolupracoval část roku s tutorem projektu panem Ivanem Stránským.

Uskutečnila se plánovaná činnost „Seminář a Rada CAK“ s termínem zahájení 09/2014 a termínem ukončení 11/2014.

Seminář CAK se uskutečnil ve dnech 16.-17. 9. 2014 v Rybníčním záměčku u Lednice a přispěl ke vzájemné informovanosti týmů a ke koordinaci řešení projektu.

Rada projektu zasedala v Praze dne 20. 3. 2014 a dále v rámci semináře CAK dne 16. 9. 2014. Zápisy z jednání jsou přílohou zprávy. Rada projektu konstatovala, že řešení projektu postupuje podle plánu a závazky budou splněny.

Kromě běžné manažerské práce koordinátor oznamoval změnu velikosti firmy Camea, spol. s r. o. z malého podniku na střední a změnu majitele firmy CYGNI SOFTWARE, a.s., kterým se stal podnik Unicorn Systems, a.s. V důsledku této změny se firma stala velkým podnikem, došlo ke změně výše její podpory a příjemce vracel část poskytnuté dotace ve výši 51 tisíc Kč. Dále došlo ke změně dalšího účastníka projektu, neboť firma PIKE AUTOMATION, spol. s r.o. ukončila z finančních důvodů řešení projektu a byla nahrazena firmou PT SOLUTIONS WORLDWIDE, spol. s r.o. Tyto změny neovlivnily řešení projektu.

Manažer projektu prezentoval projekt „Centrum aplikované kybernetiky 3“ účastníkům světového kongresu Mezinárodní federace automatického řízení (19th IFAC World Congress), který se konal v Kapském městě v srpnu 2014. Podklad pro prezentaci projektu je přílohou odborné zprávy. Při té příležitosti též přednesl odborný příspěvek „Model matching via stabilizing static state feedback“, ve kterém ukázal, jak nalézt stabilní řešení při změně přenosu daného systému.

2 Kontrola plnění plánu pracovního balíčku

2a Milníky

Průběžná zpráva o řešení projektu

Termín dosažení 12/2014. Splněno podáním této zprávy.

2b Dílčí cíle

Nebyly plánovány.

2c Dílčí výstupy

Průběžná zpráva o řešení projektu

Termín dosažení 12/2014. Splněno podáním této zprávy.

2d Výsledky dle kategorie RIV

Nebyly plánovány.

3 Očekávaný průběh řešení projektu

V souladu s návrhem projektu.