

MOŽNOSTI VYUŽITÍ MULTIAGENTNÍCH SYSTÉMŮ V MEDICÍNĚ

Lenka Lhotská

*Gerstnerova laboratoř, katedra kybernetiky, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická,
Technická 2, 166 27 Praha 6, Česká republika
E-mail: lhotska@fel.cvut.cz, Phone: +420 224353933, Fax : +420 224311081*

Abstrakt Cílem příspěvku je seznámit s existujícími lékařskými aplikacemi multiagentních systémů na zahraničních pracovištích a s vyvíjeným systémem pro monitorování a diagnostiku v Gerstnerově laboratoři FEL ČVUT. Budeme prezentovat model využívající znalosti o vzájemném uvědomování si ostatních agentů (sociální znalosti). Znalosti o sociálním chování agentů jsou formalizovány v tzv. tribázovém (3bA) modelu. Tyto znalosti umožňují zaměřování pozornosti a zajišťují holistické komplexní vnímání problémů.

Summary The aim of the paper is to inform about existing medical applications of multiagent systems at foreign institutions and about the system for monitoring and diagnostics under development at the Gerstner Laboratory, Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering. We present a knowledge-based model of agents' mutual awareness (social knowledge). The tri-base acquaintance (3bA) model formalizing agent's social behaviour knowledge and agent's cooperation neighbourhood knowledge is enhanced to support attention focussing and to ensure a holistic complex perception of the problem.

1. ÚVOD

Stále se zvyšující objem dostupných informací je zcela jistě strategickým zdrojem pro dnešní lékaře, ale na druhé straně není jednoduché s tímto objemem pracovat. Management znalostí a inteligentní vybavování znalostí se postupně stává prominentním tématem výzkumu v oblasti medicínské informatiky. Avšak stále jen malá část těchto informací má skutečný dopad na klinické prostředí. Lékaři pracují s rychle se měnícím, nestrukturovaným a kvalitativně heterogenním znalostním prostředím, přičemž se snaží extrahovat informace potřebné pro své rozhodování. Pro návrh systémů, které by se vhodným způsobem vypořádaly s těmito požadavky, se jeví jako výhodné využití agentních technologií.

Multiagentní systémy se v posledních letech staly jedním z dominujících témat výzkumu v oblasti umělé inteligence. Tato oblast se postupně vyděluje z distribuované umělé inteligence jako samostatná disciplína, opírající se o výsledky výzkumu jak v ostatních částech umělé inteligence, tak i v oblasti počítačových věd. Řada systémů, včetně systémů softwarových, dosáhla takového stupně složitosti, že je není možno řídit a provozovat jako systémy monolitické. Snaha o dekompozici takovýchto systémů do přirozených funkčních jednotek, relativně autonomně řešících dílčí úlohy a komunikujících v nezbytně minimálním rozsahu jen za účelem koordinace své činnosti s ostatními jednotkami, s nimiž sdílí globální cíl, je proto zcela přirozeným trendem. Navíc umožňují velmi přirozeným způsobem řešit úlohy, které jsou již svou podstatou distribuované. Agentní technologie též umožňují snadno integrovat již existující plně funkční systémy, pracovat s heterogenními zdroji dat a znalostí, rozšiřovat systém o nové agenty, využívající další metody, apod.

I když v poslední době vznikla ve světě celá řada různých implementací, většina je orientována na průmyslové aplikace. V oblasti zdravotnictví a medicíny je několik systémů ve fázi vývoje laboratorních prototypů. Většina dnes existujících multiagentních aplikací jsou systémy vyvinuté ad hoc, přičemž zpravidla využívají jenom těch nejjednodušších, obvykle pouze reaktivních modelů chování.

2. MULTIAGENTNÍ SYSTÉMY V LÉKAŘSKÉ OBLASTI

Během posledních let vzrostl zájem o využití multiagentních systémů ve zdravotnictví. Nejčastější oblasti, ve kterých se už s agentní technologií uvažovalo, jsou: vybavování lékařských znalostí a informací z Internetu [1], systémy pro podporu rozhodování v úlohách monitorování a diagnostiky [2] či domácí péče, distribuované rozvrhování pacientů v nemocnici [3].

AADCare [4] je systém pro podporu diagnostiky, managementu toku práce a plánování léčby. Architektura agenta obsahuje několik vrstev znalostí, pracovní paměť, komunikačního manažera a uživatelské rozhraní. Agenti mají deliberativní a reaktivní chování. Deliberativní chování je umožněno začleněním rozhodovacích pravidel pro výběr plánů, pravidel pro management úkolů při dekompozici a alokaci úkolů a kooperačních pravidel pro formulaci závazků. Reaktivního chování se dosahuje pomocí řídicí vrstvy, která reaguje na změny v pracovní paměti. Znalosti jsou rozděleny do tří vrstev: doménové znalosti (báze znalostí – lékařská fakta, klinické protokoly, databáze patientských záznamů, databáze dostupnosti zdrojů), znalosti pro usuzování (generické, deklarativní inferenční pravidla pro rozhodování s nejistou informací a pro řízení

kooperace agentů) a řídicí znalosti (říkají, jak aplikovat znalosti pro usuzování na doménové znalosti takovým způsobem, aby výsledkem byla vygenerovaná odvození, kdykoliv se přidávají nová data do pracovní paměti). Pracovní paměť je podobná globální tabuli [5].

V rámci pracovní skupiny „nemocniční logistika“ v SPP 1083, a se zahrnutím projektu ADAPT byl vytvořen extenzivní a empiricky založený model nazvaný Agent.Hospital [6]. Tento model je založen na agentní technologii. Agent.Hospital se skládá z detailních dílčích modelů zdravotní péče, různých typů servisních agentů a agentních platform. Prostředí Agent.Hospital podporuje evaluaci metod modelování, detekce a řešení konfiguračních problémů a prověření vyjednávacích strategií a koordinačních algoritmů ve zdravotnických scénářích. V současnosti jsou implementovány následující součásti: klinické zkoušky a radioterapeutika (ADAPT), záchrana pacientů (AGIL), léčba rakoviny plic (ASAINlog), angina pectoris (MedPAGE), léčba žlučových kamenů, chirurgické procesy (Policy Agents), procesy radiologických služeb (EMIKA).

Projekt PalliaSys [7] je španělský projekt, jehož cílem je navrhnout a vytvořit prototyp systému pro podporu personálu na jednotce paliativní péče velké nemocnice. Tato jednotka je specializována na činnosti týkající se pacientů s nevléčitelnými nemocemi. Má za úkol jim zmírnit bolest v konečné fázi jejich života. Osoba může být zahrnuta na seznam pacientů jednotky paliativní péče v různém stádiu nemoci a bolesti.

Guardian [2] je projekt, který byl dokončen v roce 1996. Jeho cílem bylo vyvinout prototyp inteligentního multiagentního systému pro monitorování pacientů na jednotce intenzivní péče. Systém využívá řídicí architekturu tabule a je složen z heterogenních softwarových modulů, které jsou organizovány do dvou vrstev. V nižší vrstvě jsou moduly, které zajišťují redukci dat a abstrakci. Ve vyšší vrstvě se provádí usuzování a kooperace.

V literatuře a na Internetu je popsána celá řada jiných architektur multiagentních systémů a jejich aplikací v celé řadě oblastí. I v oblasti lékařských aplikací se v poslední době objevilo více systémů, prezentovaných na konferencích a popsaných ve speciálních číslech některých časopisů věnovaných přímo tématu Multiagentní systémy ve zdravotnictví.

3. MEDICÍNA JAKO APLIKAČNÍ OBLAST

Moderní zdravotní péče je vysoce specializovaná. Komplexní vyšetření jednoho pacienta zahrnuje mnoho konzultací odborníků a laboratorních testů. Distribuovaná data, informace, znalosti a kompetence charakterizují moderní medicínu. Nejčastěji si specialisté vyměňují své závěry v podobě abstraktních konceptů. Tento

přístup však znesnadňuje využití složitých vztahů mezi různými symptomy, zejména v raném stadiu nemoci, kdy jsou projevy nemoci málo patrné. Doufejme, že takové vztahy lze rozpoznat, když bude všechna vyšetření vyhodnocovat jeden člověk. Samozřejmě ale existuje celá řada důvodů, proč je obtížné tohoto cíle dosáhnout. Výstupem většiny měření není jediné číslo, ale měření odpovídají časovému průběhu některého atributu (např. EKG, EEG). Výslední data mají extenzivní charakter, jejich interpretace je velmi náročná a je k ní potřeba velké množství speciálních znalostí – tudíž musí být zajištěna odborníkem v dané oblasti. Ale s nejvyšší pravděpodobností odborník v jedné oblasti není odborníkem v jiné, která může být v daný moment životně důležitá pro pacienta. Proto je vysoce důležité hledat řešení, která umožní pružnou výměnu dat nebo znalostí mezi specialisty, podílejícími se na procesu rozhodování. Výměna by se neměla omezit na abstraktní koncepty, ale měla by zaměřit pozornost na projevy či příznaky, které jsou na první pohled nevýznamné a které by mohly zůstat nepovšimnuty. V prediktivní diagnostice by bylo důležité doplnit existující pohled odborníka na pacienta složitějším obrazem, odrážejícím detaily rozpoznané v nezávislých měřeních. Tento přístup může vést k hlubšímu pochopení některých komplikovaných nemocí a jejich dřívějšímu odhalení.

Navíc mohou mít data či znalosti různou povahu: popisy v přirozeném jazyce, 2D obrazy, měřené biologické signály (např. EKG, EEG, EMG), výsledky laboratorních testů (zpravidla seznam číselných hodnot). Jsou uloženy na různých médiích: listy papíru, fotografie, blány, elektronické soubory, knihy (uvažujeme-li „klasické“ lékařské znalosti), někdy osobní komunikace. Zpravidla nejsou dostupné na jednom místě v jednom určitém čase. Tato distribuce představuje největší problém, jestliže se má rozhodovat včas. Lékařské znalosti, vyšetření a léčba jsou distribuované funkčně, geograficky a také časově. Je evidentní, že je potřeba mít spolehlivý a konzistentní tok informací mezi všemi zainteresovanými subjekty s cílem splnit globální cíl – lepší zdravotní stav pacienta. Samozřejmě potřebný tok informací není předvídatelný v rozsahu a struktuře, ale vyvíjí se a mění v čase díky novým znalostem a reakcím. Pro uspokojení těchto požadavků a poskytnutí adekvátní podpory rozhodování se použitím flexibilní inteligentní softwarové podpory stává více a více žádoucí. Agentní technologie nabízí efektivní a přirozené řešení, protože odpovídá hlavním vlastnostem lékařské oblasti, tedy distribuci informací, řešitelských schopností, zdrojů a odpovědností, rozhodování s neúplnou informací, iterativní zjemňování plánů.

Budeme-li analyzovat celý cyklus léčby pacienta, můžeme najít nejméně pět samostatných oblastí, kde lze využít počítačové podpory,

konkrétně jde o diagnostiku, predikci, monitorování, zpracování informací, management a plánování léčby. Všechny tyto oblasti mohou profitovat z nových možností nabízených moderními informačními technologiemi. Na příklad v diagnostice a predikci je možné začlenit agenty, kteří budou vyhledávat podobné případy, které se někde již v minulosti objevily. Samozřejmě je nutné, aby v takovém případě byl agent schopen generovat správný dotaz a aby případy byly dostupné prostřednictvím Internetu. Jinou možností je využít agenty pro přípravu a inicializaci elektronické lékařské konzultace.

3.1 Diagnostické úlohy

Obecně je lékařská diagnostika složitý proces, který vyžaduje velké množství specializovaných znalostí a zkušeností. V závislosti na příznacích, které pacient má, je praktický lékař schopen určit pravděpodobnou diagnózu více či méně přesně. Jsou-li příznaky stejné pro několik nemocí, musí lékař provést další vyšetření (ve své ordinaci nebo pošle pacienta na specializovanou kliniku). Některá vyšetření jsou založena na měření signálů nebo dalších parametrů (např. krevní tlak, analýza krve). Většina těchto dat potřebuje interpretaci (= vysvětlení sémantického obsahu).

Tradičně byly velké objemy měřených dat (EEG, EKG, apod.) interpretovány experty pouze s minimální softwarovou podporou. Taková manuální interpretace je však bolestně pomalý a namáhavý proces (představme si 24hodinový záznam EKG). Navíc, protože interpretace zahrnuje subjektivní posouzení a každý lékař má odlišné odborné znalosti a zkušenosti, formulace efektivní interpretace často vyžaduje spolupráci několika takových expertů. Proto by bylo velmi užitečné mít softwarový systém, ve kterém by individuální interpretace byly generovány automaticky a následně zjemňovány s použitím kooperativního usuzování a sdílení informací. Co musí být vyřešeno, je granularita informací, které se mají sdílet. Je také nutné zdůraznit, že v každém případě je konečné rozhodnutí věcí lékaře a ne počítačového systému. Počítačový systém je vždy považován za nástroj pro podporu rozhodování.

3.2 Úloha monitorování

Monitorování je životně kritická činnost na jednotkách intenzivní péče, kde zpoždění informací může být rozhodující pro přežití pacienta. Proto vyžaduje automatický sběr dat ze všech monitorovacích přístrojů u postele pacienta, zpracování dat v reálném čase a vyhodnocení. Získání těchto dat on-line umožňuje korelaci a validaci dat, výpočet odvozených proměnných či návrh inteligentních scénářů alarmů zahrnujících několik parametrů a proměnných, které jsou monitorovány paralelně. V tomto kontextu nabízí

počítačová podpora významnou úsporu času personálu. Systém může poskytnout včasné varování a inicializovat odpovídající akci, jestliže dochází k podezřelému vývoji jednoho či více parametrů sledovaných u pacienta, což nemuselo vést ke spuštění alarmu u „klasického“ přístroje. Tedy cílem je vytvořit časnou detekci kritické situace.

Většina monitorovacích přístrojů a přístrojů pro podporu životních funkcí, jako jsou ventilátory a fyziologické monitory, je dnes vybavena mikroprocesory. Obvykle má každý z nich svůj vlastní displej a je navržen jako samostatná jednotka. Navíc mívají často různé výstupy, protože pocházejí od různých výrobců. Výsledkem je, že zodpovědná osoba musí odečítat data z několika displejů a následně je vkládat do jiného systému pro další zpracování. Urgentní potřeba integrace výstupů je evidentní.

Monitorování pacienta se provádí jak z diagnostických, tak terapeutických důvodů. Obecně můžeme identifikovat několik kategorií pacientů, kteří potřebují monitorování:

- pacienti s nestabilním fyziologickým regulačním systémem,
- pacienti s podezřením na život ohrožující stav,
- pacienti s vysokým rizikem rozvinutí život ohrožujícího stavu,
- pacienti v kritickém fyziologickém stavu,
- pacienti, kteří jsou fyzicky či psychicky nestabilní,
- pacienti, kteří nejsou schopni komunikovat,
- neonatální a dětské pacienty,
- pacienti pod sedativy či v anestézii.

Množství parametrů pacienta se musí měřit kontinuálně, zejména srdeční frekvence a rytmus, frekvence dýchání, krevní tlak, saturace krve kyslíkem. Navíc je možné měřit např. intrakraniální tlak, klinickou chemii, testy krevních plynů, obsah glukózy v kapilární krvi, tělesnou teplotu, EEG.

4. ADAM: ARCHITEKTURA AGENTŮ PRO DIAGNOSTIKU A MONITOROVÁNÍ

4.1 Motivace

Lékařská diagnostika byla jednou z aplikačních oblastí expertních systémů v 70. letech 20. st. Od té doby byla vyvinuta řada problémově orientovaných systémů. Avšak většina byla velmi úzce zaměřena. Měly podobu jedné softwarové metody nebo techniky [8], [9]. Prvním krokem k distribuované organizaci bylo zavedení architektury tabule [5]. Logickým pokračováním tohoto procesu jsou multiagentní systémy [10], kde síť kooperujících agentů zpracovává množství vzájemně propojených úkolů. Mohou být heterogenní, využívat různé metody či techniky pro řešení svého problému. Jejich výsledky se potom mohou kombinovat nebo se může vybrat nejlepší řešení. Relativně nedávno se monitorování na JIP dostalo do centra pozornosti,

protože všechny používané přístroje produkují enormní množství dat, která se musejí průběžně vyhodnocovat.

Popíšme úkoly, které lze potenciálně řešit při monitorování. Informace o pacientovi musejí být uloženy, aby mohly být použity pro rozpoznávání a extrakci příznaků, nalezení zajímavých fyziologických sekvencí, zobrazení měřených hodnot za delší časový úsek s vyjádřením trendů. Integrace informací z několika přístrojů umožňuje vyhodnotit kvalitu signálu z jednoho přístroje, např. pozorovanou pomalou degradaci odporu přechodu kůže-elektroda při měření EKG. Tato funkce poskytuje užitečný prostředek, jak se vyhnout falešným alarmům, totiž umožňuje rozlišit mezi artefakty a reálnými situacemi alarmů s využitím informací odvozených z jednoho signálu pro verifikaci informace z druhého signálu. Je nutné zdůraznit, že na JIP bývá zpravidla více pacientů najednou. To znamená, že popisované úkoly jsou znásobeny, což může vést ve svém důsledku k přetížení sester, které musejí sledovat informace na všech přístrojích. Je zřejmé, že zavedení systému, který je schopen zpracovávat data pacienta, vyhodnocovat stav pacienta a vyslat alarm, je-li třeba (s rozlišením významnosti různých alarmů), by podpořilo rozhodování personálu.

Vyhodnocování lékařských dat je často vzdálené od přímého postupu. Neexistuje obecně použitelná nejlepší metoda nebo technika pro nasazení na konkrétní data. Každá metoda má svoje relativní silné a slabé stránky. Některé metody produkují pouze přibližné řešení, ale relativně rychle, jiné jsou přesnější, ale relativně pomalé. Navíc výkon dané metody často závisí na povaze souboru dat (některé metody pracují dobře se zašuměnými daty, jiné nikoliv, některé pracují dobře s daty, které mají velké zesílení signálu, jiné pracují dobře s malým zesílením signálu, některé se umějí vypořádat s chybějícími daty, jiné nikoliv). Velikost souboru dat může také ovlivnit výkon metody. Když je soubor dat příliš velký, obvykle není uživatel schopen vyhodnotit kvalitu dat manuálně, nemusí být dostatečně zkušený, může přeskočit důležitou část dat, atd. To vše se odráží v základních požadavcích na uvažovaný systém: systém musí reagovat na kontext řešení problému.

Nejlepší způsob, jak překonat problémy spojené s výběrem jediné metody, je navrhnout systém, který umožní koexistenci více metod. Avšak jak ukazují příklady z jiných aplikačních oblastí (např. zpracování obrazu), takové systémy nebo nástroje významně zatěžují uživatele. Očekává se, že uživatel zná u každé metody její vlastnosti, je schopen posoudit, kdy, kde a jak ji použít, a určit, jak nejlépe integrovat a spojovat výsledky dosažené vybranou metodou. Bylo by nesmírně náročné řešit tento problém pomocí jednoho monolitického systému (např. expertního systému), protože neumožňuje integraci různých metod a vyhodnocení dílčích

výsledků dosažených těmito metodami. Proto jsme se rozhodli navrhnout a vyvinout otevřený systém, který bude poskytovat celou řadu základních metod (reprezentovaných nezávislými moduly) a umožní určovat během zpracování, které metody jsou vhodné za jakých podmínek. Vzájemná výměna dílčích a konečných výsledků mezi jednotlivými moduly bude přímo podporovaná na softwarové úrovni.

4.2 Multiagentní přístup

Když zvážíme všechny požadavky a povahu problémové oblasti, dojdeme nutně k závěru, že nejpřirozenějším prostředkem pro modelování a implementaci systému je multiagentní přístup. Pro naše účely aplikace v lékařské diagnostice jsou významné zejména tři základní vlastnosti multiagentních systémů: kooperace, heterogenita jednotlivých agentů a integrace existujících výkonných programů. Pod pojmem agent rozumíme softwarovou entitu, která vykazuje následující vlastnosti [11]:

- **Autonomie:** Agenti pracují bez přímého zásahu lidí nebo jiných agentů a mají jistou míru kontroly nad svými akcemi a vnitřním stavem.
- **Sociální chování:** Agenti interagují s ostatními agenty (a lidmi) prostřednictvím komunikačního jazyka, když rozpoznají potřebu takové komunikace (obvykle s cílem dokončit svoje řešení a pomoci ostatním s jejich činnostmi).
- **Reaktivita:** Agenti vnímají své okolí (fyzický svět, uživatele, společenství agentů, Internet, nebo kombinaci všech uvedených entit) a reagují včas na změny, které se v jejich okolí objeví.
- **Proaktivnost:** Agenti nejednají pouze v odpověď na okolí, mohou vykazovat cíli řízené oportunistické chování a převzít iniciativu ve vhodný okamžik.

V další části popíšeme strukturu agenta a znalostní struktury, odpovědné za jeho chování v multiagentní komunitě. V našem návrhu jsme vyšli z architektury agenta vyvinuté v Gerstnerově laboratoři. Její robustnost byla ověřena na aplikacích v několika oblastech, např. v oblasti plánování a rozvrhování výroby (systém ProPlanT), řízení dodavatelského řetězce (projekt ExPlanTech), formování koalic (systém CplanT) [12]. Analyzovali jsme funkčnost této architektury a definovali základní rozdíly mezi úlohami plánování a diagnostiky. Na jejím základě jsme navrhli určité modifikace pro úlohy diagnostiky a monitorování.

4.3 Tribázový znalostní model a jeho aplikace v diagnostických úlohách

Základní architektura agenta a jeho báze znalostí jsou převzaty z [12]. Agent v našem systému se skládá z funkčního těla (obvykle

samostatný program s dobře definovanou funkčností) a obálky (která je zodpovědná za začlenění agenta do komunity agentů). Tribázové (3bA) modely jsou zakódovány v obálce agenta. 3bA modely mají několik důležitých funkcí:

- omezit nadbytečnou komunikaci v multiagentním systému,
- zajistit okamžitou odpověď v časově kritických situacích,
- generovat a udržovat databáze informačních zdrojů.

V rámci 3bA modelu každý agent udržuje tři báze znalostí, ve kterých jsou uloženy všechny relevantní informace o ostatních členech komunity, konkrétně kooperační báze, báze úkolů a báze stavů.

Kooperační báze (CB) udržuje permanentní informace o kooperujících agentech, tj. jejich adresy, komunikační jazyk a jejich předdefinované zodpovědnosti (včetně informace o požadované formě vstupních dat pro tělo agenta). Tato data jsou potřeba pro zajištění předvýběru vhodného agenta, který je schopen provést požadovaný úkol, protože v diagnostice se zpravidla využívá velký objem vstupních dat heterogenní povahy a formy. Předpokládá se, že se tento typ znalostí nebude měnit velmi často.

Báze úkolů (TB) má dvě sekce: sekci problémů a sekci plánů. V sekci plánů (PLS) se udržují aktuální plány, jak provádět ty úkoly, které jsou nejčastěji agentovi zadávány. V sekci problémů se ukládají obecné znalosti o řešení úlohy, tj. znalosti o možných rozhodnutích s ohledem na typ vstupních dat a očekávané výsledky.

Báze stavů (SB) obsahuje informace o spolupracujících agentech, tj. o jejich aktuálním stavu. V sekci agentů (AS) jsou uloženy informace o aktuálním zatížení kooperujících agentů. Tato část se aktualizuje často a informuje agenta, kteří ze spolupracujících agentů jsou zaneprázdněni a kteří jsou dostupní pro spolupráci. Sekce úkolů (TS) ukládá informace o stavu úkolů, které agent aktuálně řeší.

4.4 Obecná architektura systému ADAM

Koncept systému ADAM [13] definuje tři základní třídy agentů, které jsou potřebné pro zajištění základní funkčnosti a účastní se na přímém řešení úloh: agenti pro sběr dat, kteří shromažďují data z měřicích přístrojů, laboratorních zařízení, apod., agenti pro vyhodnocování (interpretaci) dat, kteří předzpracovávají a zpracovávají shromážděná data za použití vhodných metod, výsledky jsou popsány koncepty na vyšší úrovni abstrakce, a integrační agenti, kteří integrují výsledky získané od agentů pro vyhodnocování dat. Integrační agenti vyhodnocují tyto dílčí výsledky s cílem získat odpovídající závěry. Na základě této evaluace může integrační agent přímo kontaktovat agenty pro sběr dat a požádat je o nové měření. Systém navíc

obsahuje další agenty, kteří zajišťují inteligenci systému. Jde zejména o učícího se agenta, skeptického agenta, databázového agenta a informačního agenta (sbírajícího informace, zejména z Internetu). Databázový agent sbírá data o všech pacientech a jako vedlejší efekt vytváří zdroj pro dolování dat. Informační agent hledá doplňkové informace na Internetu nebo u agentů pro sběr dat. Skeptický agent shromažďuje a ukládá pozorování a diagnózy spojené s minulými nálezy tak, jak jsou poskytovány informačním agentem nebo jsou výsledkem usuzování integračních agentů. Učící se agent může používat některé metody strojového učení na data poskytovaná ostatními agenty v komunitě. Navíc k těmto agentům navrhujeme začlenit do systému meta-agenta, což je nezávislý agent, který sleduje chování komunity. Má dvě role: pasivní (vizualizace struktury komunity, distribuovaných řešení, uživatelské rozhraní, apod.) a aktivní (ovlivňuje činnost komunity – inicializuje sekvence operací, učí se z pozorování a snaží se zlepšit chování celé komunity). Předpokládáme, že agenti budou spouštěni na různých strojích a budou komunikovat prostřednictvím Internetu.

4.5 Případová studie: Lékařská diagnostika a monitorování

Každou metodu pro předzpracování a vyhodnocování dat a signálů můžeme považovat za autonomního softwarového agenta, který spolupracuje, komunikuje a koordinuje svoji činnost s ostatními agenty, je-li to nutné pro dosažení globálního cíle. Pro první fázi návrhu systému pro úlohu lékařské diagnostiky a monitorování jsme obecnou architekturu systému ADAM poněkud modifikovali a neuvažovali některé typy agentů.

Agenty pro vyhodnocování (interpretaci) dat jsme rozdělili do dvou úrovní, a to na agenty pro předzpracování dat a agenty pro zpracování dat. Na úrovni předzpracování dat je k dispozici několik agentů pro předzpracování dat přicházejících od různých agentů pro sběr dat. Agenti pro předzpracování též umožňují vizualizovat jak přicházející data, tak data v různých fázích předzpracování. Dále musejí zajistit několik důležitých kroků, jako je odstranění šumu, filtrace. Tyto operace se musejí dělat velmi pečlivě, aby došlo k minimálnímu zkreslení užitečné informace v datech či signálu. Předzpracování signálů se odehrává jak v časové, tak frekvenční oblasti, a jeho výsledkem je extrakce a výpočet nejcharakterističtějších příznaků. Agenti mohou pracovat v automatickém režimu, kdy extrahují relevantní atributy a posílají je k dalšímu zpracování, nebo v interaktivním režimu, kdy uživatel může provádět vizuální inspekci s využitím vizualizačních modulů agentů.

Agenti pro zpracování dat využívají metody strojového učení (rozhodovací stromy, neuronové sítě, k-NN klasifikátor). Nejprve se naučí na

relevantních trénovacích množinách a následně jsou využívány pro klasifikaci. Jejich výstupy slouží jako vstup pro integračního agenta.

Integrační agent je znalostní systém, který má několik různých vstupů, a to výsledky agentů pro zpracování, data o pacientově zdravotním stavu a předchozích onemocněních a vyšetřeních z databáze (případně od lékaře prostřednictvím manuálního vstupu), vyhodnocení biochemických testů. Výsledkem je navržená diagnóza a návrh léčby příslušného pacienta.

Databázový agent řídí operace s lokální databází. Tato databáze je strukturovaná a obsahuje data o vyšetřovaných pacientech. Naměřené signály se ukládají do samostatných souborů a v záznamu pacienta jsou odkazy na tyto soubory. Pacientův záznam obsahuje příznaky extrahované a vypočítané ze signálů, pacientovu anamnézu, výsledky biochemických testů, navrženou diagnózu, potvrzenou diagnózu, navrženou léčbu a medikaci.

Agent uživatelského rozhraní slouží pro komunikaci s uživatelem. V současnosti musejí být jeho prostřednictvím vkládány některé údaje interaktivně, např. laboratorní výsledky biochemických testů a doplňkové informace z centrální nemocniční databáze.

5. ZÁVĚR

V tomto článku jsme popsali možnost využití agentní architektury pro vývoj inteligentního systému pro podporu rozhodování v medicíně. Spolupracující agenti poskytují velmi přirozený nástroj pro automatizaci předzpracování a (alespoň částečně) evaluace velkých objemů lékařských dat s využitím všech dostupných lékařských znalostí. Další fáze projektu je zaměřena na implementaci systému a jeho testování na reálných datech.

Poděkování

Teoretický výzkum popisovaný v příspěvku vznikl za podpory ve výzkumném záměru MSM6840770012 „Transdisciplinární výzkum v oblasti biomedicínského inženýrství II“, aplikace v diagnostice je řešena v rámci projektu č. IET201210527 „Znalostní podpora diagnostiky a predikce v kardiologii“ v rámci programu „Informační společnost“.

LITERATURA

- [1] Baujard, O., Baujard, V., Aurel, S., Boyer, C., and Appel, R.D.: MARVIN, a multiagent softbot to retrieve multilingual medical information on the Web. *Medical Information* 23, 187-91, 1998.
- [2] Larsson, J. E. and Hayes-Roth, B. Guardian: An Intelligent Autonomous Agent for Medical Monitoring and Diagnosis, *IEEE Intelligent Systems and their Applications*, 13(1), 58-64, 1998
- [3] Decker, K. and Li, J.: Coordinated hospital patient scheduling. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Multi-agent systems*, ICMAS-98, Paris, 1998.
- [4] Huang, J., Jennings, N.R. and Fox, J.: An agent-based approach to health care management. *Applied Artificial Intelligence* 9, 401-20, 1995.
- [5] Hayes-Roth, B.: A blackboard architecture for control. *Artificial Intelligence* 26, 251-320, 1985.
- [6] Kirn, S. and Heine, C. and Herrler, R. and Krempels, K.H.: Agent Hospital - agent-based open framework for clinical applications. In: *IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*, 2003
- [7] Riaño D., Moreno A., Valls A.: Palliasys: Agent Based Palliative Care, In: *IEEE 4th Conf. on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'04)*, ISBN 963 7154 29 9, Budapest, Hungary, 2004
- [8] Shapiro, S.C., editor: *Encyclopedia of artificial intelligence*. John Wiley & Sons, New York. 1990
- [9] Stefik, M.: *Introduction to knowledge systems*. San Francisco: Morgan Kaufmann. 1995
- [10] Weiss, G., editor: *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press. 1999
- [11] Wooldridge, M. and Jennings, N.R.: Agent theories, architectures, and languages: a survey. In Wooldridge M., Jennings N.R., editors. *Intelligent agents*. Heidelberg: Springer-Verlag. 1995
- [12] Marik, V., Pechoucek, M. and Stepankova, O.: Organization of social knowledge in multi-agent systems. *Integrated Computer-Aided Engineering* 9, 1-12, 2002.
- [13] Lhotská, L. - Štěpánková, O.: Agent architecture for smart adaptive systems. In: *Transactions of the Institute of Measurement and Control*. 2004, vol. 26, no. 3, s. 245-260. ISSN 0142-3312