

## Naučno-nastavnom veću Prirodno-matematičkog fakulteta

Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	24. NOV 2003.
ОРГАНИЗ. ЈЕД.	Б Р О Ј
0603	331/7

Na XVII sednici, održanoj 08.10.2003. godine Naučno-nastavno veće Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu, odredilo je komisiju za pregled i ocenu doktorske teze

### Adaptable Java Agents (AJA) – a Tool for Programming of Multi-Agent Systems

kandidata **Mihala Badjonskog**.

Komisija čiji su članovi:

1. dr Zoran Budimac, vanredni profesor, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, predsednik
2. dr Mirjana Ivanović, redovni profesor, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, mentor
3. dr Dušan Tošić, vanredni profesor, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, član
4. dr Živko Tošić, redovni profesor u penziji, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Niš, član

nakon pregleda doktorske teze podnosi sledeći

## IZVEŠTAJ

U okviru doktorske teze je osmišljen, dizajniran i implementiran jedan alat za programiranje agenata u multi-agentskim sistemima. Originalni pristup u pravljenju alata nazvanog AJA se zasniva na integraciji tehnika veštačke inteligencije sa dva nova programska jezika, koji su i osnova napravljanog alata. U cilju prikazivanja mogućnosti AJA alata u tezi je pomoću ovog alata isprogramiran jedan kompleksan multi-agentski sistem.

Multi-agentski sistemi predstavljaju relativno novu i atraktivnu oblast u računarskim naukama. Obično se klasifikuju kao podoblast distribuirane veštačke inteligencije, mada se mogu razmatrati i sa aspekta programskih jezika, računarskih mreža, veštačkog života (engl. *artificial life*), sistemskog programiranja, softverskog inženjerstva i matematičke logike.

Multi-agentski sistem je decentralizovan sistem koji se sastoji od softverskih i/ili hardverskih agenata. Agenti zajedno rešavaju neke probleme. Oni mogu da sarađuju ili da se takmiče međusobno dok izvršavaju svoje akcije.

Multi-agentski sistemi su posebno interesantni iz sledećih razloga:

1. Gotovo svi kompleksni sistemi (društveni, biološki, ekonomski, politički, ...) su multi-agentski sistemi. Pravljenje softverskih sistema takve složenosti je moguće samo ako se oni prave kao multi-agentski sistemi.

2. Dostupnost Interneta i ostalih kompjuterskih mreža omogućuje pravljenje novog tipa softverskih sistema. Ovi softverski sistemi su decentralizovani i njihovi delovi su



distribuirani na mnogim računarima povezanih mrežom. Jedan od najobedavajućih pristupa izgradnji ovakvih distribuiranih sistema jeste da se oni posmatraju i prave kao multi-agentski sistemi.

Zbog različitosti programerskih tehnika, alata i programskih jezika korišćenih za programiranje agenata, kao i zbog nedovoljne afirmisanosti agentski-orijentisanog programiranja, još uvek se ne može napraviti precizno poređenje ove programerske paradigme sa ostalim paradigmama programiranja. Uprkos tome, prave se različiti alati sa ciljem pojednostavljivanja izgradnje multi-agentskih sistema.

Jedan takav originalan alat, nazvan AJA, je tema ove doktorske teze. Zahvaljujući pre svega originalnom pristupu integracije tehnika veštačke inteligencije sa konvencionalnim programiranjem kao i širokim mogućnostima primene i drugim svojim osobinama alat AJA predstavlja značajan doprinos oblasti agentske metodologije. AJA se sastoji od dva programska jezika:

- HADL (Higher Agent Definition Language) je jezik višeg nivoa kojim se opisuju glavne komponente agenta.
- Java+ je jezik nižeg nivoa koji služi za implementaciju pojedinih komponenti agenta specificiranih HADL jezikom. Java+ proširuje programski jezik Javu konstrukcijama pomoću kojih je moguće pristupati komponentama agenta, definisanim u jeziku HADL.

Agent implementiran pomoću AJA alata poseduje sledeće osobine:

- Sigurna komunikacija sa drugim AJA agentima koristeći mehanizam pregovaranja, šifrovanje i digitalno potpisivanje poruka.
- Mogućnost adaptiranja na promene u okruženju u kom se nalazi, koristeći neuralne mreže i adaptabilne parametre.
- Reaktivnost zasnovana na komponenti zvanj refleks.
- Paralelno izvršavanje akcija agenta uz njihovu internu sinhronizaciju.
- Dostupnost agenta preko Interneta. Agent se ponaša kao jednostavan HTTP server. Na ovaj način se drugim osobama omogućuje da preko Interneta komuniciraju sa agentom.
- Grafički korisnički interfejs zasnovan na Java Swing tehnologiji.
- Pošto se u programiranju agenta koristi Java+, moguće je uposliti sve pogodnosti Jave, kao što su na primer pristup bazama podataka koristeći JDBC, rad sa multi-medijalnim sadržajem, itd.

U tezi je predstavljen originalni pristup integrisanja tehnika veštačke inteligencije sa programskim jezikom. Ugrađujući komponente veštačke inteligencije u izvršnu okolinu jezika čini njihovo korišćenje veoma jednostavnim. Programer ne mora da bude ekspert iz veštačke inteligencije a da pri tome koristi konstrukcije jezika koje su implementirane pomoću veštačke inteligencije. Ovim se alat AJA i izdvaja od ostalih postojećih agentskih alata, koji ili ne pružaju nikakvu podršku za inteligentno ponašanje agenata ili takva podrška postoji ali samo za korisnike alata koji su eksperti u veštačkoj inteligenciji. Zbog ove osobine, kao i zbog podrške programiranju složene komunikacije među agentima, sigurnosti zasnovanoj na šifrovanju i digitalnom potpisivanju poruka, lakoći korišćenja i širokog polja primene, je AJA alat značaj za celu oblast agentskog programiranja.



AJA specifikacija agenta se sastoji od HADL i Java+ delova. U tezi je implementiran prevodioc kojim se AJA specifikacija prevodi u skup klasa programskog jezika Java. Implementiran je i jedan multi-agentski sistem kojim se praktično pokazuje korišćenje i mogućnosti napravljenog alata.

Doktorska teza sadrži i detaljan pregled oblasti o agentskoj metodologiji. Ona kruniše višegodišnji rad kandidata u ovoj sve značajnijoj oblasti računarstva. U detaljnom pregledu se koriste i navode mnogobrojne reference iz oblasti agenata, uključujući sve najznačajnije i najaktuelnije radove iz ove multidisciplinarne oblasti. Veliki doprinos teze je i u kritičkoj analizi prikupljenog materijala i klasifikaciji cele oblasti agenata. Time je pre svega početnicima u bavljenju agentima omogućeno lakše razumevanje cele strukture oblasti agenata kao i dodirnih tačaka između pojedinih grana istraživanja, koje na prvi pogled nemaju ništa zajedničko (napr. modalne logike i agentski-orijentisano softversko inženjerstvo).

Teza sadrži 195 strana, 68 slika i 4 tabele. Sastoji se od osam glava, liste savremenih referenci (112) i tri dodatka.

U prvoj glavi se opisuje oblast agenata i multi-agentskih sistema. Glava počinje definisanjem pojma agenta i multi-agentskih sistema. U nastavku glave su date klasifikacije agenata, opisane su primene agenata, kao i teorijski alati za modeliranje i specifikaciju agenata i multi-agentskih sistema. U glavi je dat i opis postojećih arhitektura agenata kao i agentski-orijentisanog softverskog inženjerstva. Glava se završava pregledom različitih pristupa mašinskog učenja kod agenata.

Pregled postojećih značajnijih agentskih programskih jezika i alata za programiranje agenata se daje u drugoj glavi teze.

U trećoj glavi se najpre navode glavne ideje na osnovu kojih je napravljen AJA alat. Te ideje su nastale analizom dobrih i loših osobina postojećih alata za programiranje agenata kao i na osnovu kandidatovog višegodišnjeg iskustva u programiranju agenata. U nastavku glave se opisuje arhitektura AJA agenata.

Četvrta glava se detaljno bavi sintaksom i semantikom oba AJA jezika: HADL-a i Java+.

Dve komponente veštačkog učenja koje su ugrađene u AJA jezike i koje između ostalog omogućuju adaptaciju agenata na promene u njihovom okruženju su opisane u petoj glavi teze i predstavljaju najznačajniji doprinos teze. Komponenta nazvana Adaptable Parameter je jedan od originalnih rezultata teze. Druga komponenta se zove Dependant Value i za njenu implementaciju se koristi neuralna mreža koja je obučavana jednim od najboljih poznatih algoritama za obučavanje neuralnih mreža: RPROP. Obe komponente su integrisane u AJA jezike, tako da i programeri sa skromnim poznavanjem mašinskog učenja mogu da ih koriste. Integrisanje komponenta veštačke inteligencije u programske jezike je takođe originalni doprinos teze.

U šestoj glavi je opisan jedan multi-agentski sistem implementiran pomoću AJA alata. Ovaj sistem je ujedno i primer primene AJA alata. Multi-agentski sistem se sastoji od agenata koji pripadaju zaposlenima na jednom institutu. Agenti se ponašaju kao digitalni sekretari svojih vlasnika. Između ostalog oni služe za zakazivanje sastanaka između zaposlenih, informišu studente o terminima konsultacija i obavestavaju svoje vlasnike o rođendanu kolega. Implementirani multi-agentski sistem pokazuje da AJA ne služi samo za prikazivanje novih ideja u pravljenju alata za programiranje agenata, već da se AJA može koristiti i za programiranje komercijalnih multi-agentskih sistema.

Postojeći agentski alati koji su relevantni za nastanak alata AJA se navode u sedmoj glavi teze. Pri tome se navode sličnosti i razlike alata AJA sa pojedinim alatima. U glavi se



navode i bitni radovi iz oblasti agenata i veštačke inteligencije koji su imali direktan uticaj na pravljenje alata AJA.

Osma glava sadrži zaključak teze i smernice za dalji rad. U zaljučku se ističe da napravljeni alat AJA ispunjava sve željene osobine što je i praktično provereno njegovim korišćenjem u pravljenju jednog kompleksnog multi-agentskog sistema.

Na kraju teze se u tri dodatka detaljno opisuju implementacija prevodioca AJA-e u Javu, instalacija prevodioca i korišćenje napravljenog multi-agentskog sistema.

U doktorskom radu su korišćene i navedene mnogobrojne reference kojima su obuhvaćeni svi najznačajniji i najaktuelniji radovi iz oblasti multi-agentskih sistema uključujući i radove samog kandidata objavljene u renomiranim inostranim časopisima i u zbornicima međunarodnih konferencija. Lista referenci je navedena na kraju teze.

Nekoliko radova iz oblasti agenata je uticalo na kreiranje arhitekture agenta korišćenog u ovoj tezi. Pored već opisanih originalnih doprinosa teze, neki od koncepata korišćenih u AJA agentima su već korišćeni u drugim programskim jezicima i tehnikama. Značaj alata AJA je i u objedinjavanju ovih koncepata u jednom programskom alatu.

Pošto multi-agentski sistemi predstavljaju novu oblast u računarskim naukama, postoji nedostatak alata koji pomažu implementaciju agenata. Cilj napravljenog alata je omogućavanje programiranja agenata na višem nivou, uz mogućnost korišćenja veštačke inteligencije. Alat AJA sa svojim jezicima HADL i Java+ implementira generičku arhitekturu agenta čime značajno pojednostavljuje proces programiranja različitih agenata, uključujući i inteligentne. AJA daje značajni doprinos celokupnoj oblasti, jer je samo uz pomoć alata kao što je AJA moguće agentski-orijentisano programiranje iz istraživačkih institucija preneti i u privredu.

## ZAKLJUČAK

Doktorska teza *Adaptable Java Agents (AJA) – a Tool for Programming of Multi-Agent Systems*, dokazuje da je kandidat Mihal Badjonski vrlo ozbiljno proučio ovu novu i vrlo modernu oblast u računarskim naukama. Ovom tezom kao i svojim ranijim radovima on je i sam doprineo daljem razvoju oblasti agenata.

Koristeći svoje višegodišnje iskustvo u istraživanju agenata, koje je rezultiralo objavljivanjem dvadeset i jednog (21) rada iz ove oblasti u međunarodnim i domaćim publikacijama, kao i bogate izvore kvalitetne i aktuelne literature (preko 100), kandidat je najpre osmislio, formulisao i obrazložio listu željenih osobina koje bi trebalo da zadovoljava jedan alat za programiranje agenata.

Nakon toga je u okviru teze napravljen alat AJA, koji za razliku od svih postojećih alata za programiranje agenata, poseduje sve navedene osobine, čime je dat značajan i originalan doprinos ovoj oblasti. Nakon toga je u okviru teze napravljen alat AJA, koji za razliku od svih postojećih alata za programiranje agenata, poseduje sve navedene osobine, čime je dat značajan i originalan doprinos ovoj oblasti. Programiranje agenata pomoću AJA alata je relativno lako i jednostavno, jer su najsloženiji i tehnički najkomplikovaniji delovi agenta već implementirani u okviru generičke arhitekture agenta, koju AJA pruža. AJA agenti mogu biti inteligentni, mogu da učestvuju u složenoj međuagentskoj komunikaciji uz šifrovanje i digitalno potpisivanje pojedinih poruka, agenti mogu da reaguju reaktivno kao i ciljno-orijentisano a moguće ih je i neograničeno proširivati i nadograđivati, jer se za programiranje komponenti agenta koristi i jezik Java. Birajući Javu za implementaciju, kandidat je izabrao moderan objektno-orijentisan programski jezik koji je pogodan za distribuirano programiranje u mrežnom okruženju. AJA predstavlja savremeno rešenje koje

svedoči da je kandidat ozbiljan naučnik koji svojim radom doprinosi daljem razvoju oblasti i koji je sposoban da koristi modernu tehnologiju za rešavanje različitih problema.

Veliki doprinos teze je i u datom celokupnom i opsežnom pregledu, analizi i klasifikaciji oblasti agenata. Kandidat je tu koristio veliki broj referenci iz oblasti agenata i multi-agentskih sistema, uključujući sve najznačajnije i najaktuelnije radove.

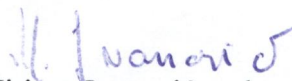
Komisija potvrđuje da doktorska teza donosi značajan i originalan doprinos izgradnji multi-agentskih sistema i da je kandidat uspešno i u potpunosti obradio predloženu temu.

Stoga, komisija pozitivno ocenjuje doktorsku tezu i predlaže Veću Prirodno-matematičkog fakulteta da prihvati doktorsku tezu *Adaptable Java Agents (AJA) – a Tool for Programming of Multi-Agent Systems* kandidata Mihala Badjonskog i da zakaže javnu odbranu teze.

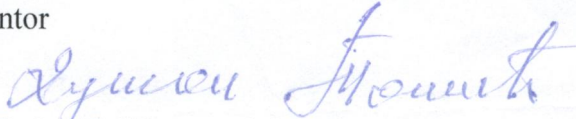
U Novom Sadu, 15.10.2003.



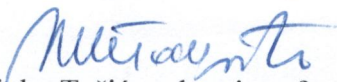
dr Zoran Budimac, vanredni profesor, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, predsednik



dr Mirjana Ivanović, redovni profesor, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, mentor



dr Dušan Tošić, vanredni profesor, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, član



dr Živko Tošić, redovni profesor, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Niš, član