

ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“
ФАКУЛТЕТ ПО МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА
КАТЕДРА „КОМПЮТЪРНИ СИСТЕМИ“

ИВАН ГЕОРГИЕВ МИНОВ

МУЛТИ-АГЕНТНА СИСТЕМА ЗА INFOSTATION АРХИТЕКТУРА

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд
за присъждане на образователна и научна степен “доктор”
в област на висше образование 4. *Природни науки, математика и*
информатика,
професионално направление 4.6. *Информатика и компютърни науки,*
докторска програма *Информатика*

Научни ръководители: проф. д-р Станимир Стоянов
доц. д-р Иван Ганчев

Пловдив
2017

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита пред научно жури, на разширено заседание на катедра „Компютърни системи“ при Факултета по математика и информатика на Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“, на 17.03.2017 г.

Дисертационният труд съдържа 218 страници. Използваната литература включва 222 източника. Списъкът с авторските публикации по темата съдържа 4 заглавия, от които 3 на английски и 1 на български език.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 21.06.2017 г. от 13:00 в заседателната зала на Факултета по математика и информатика на Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“, гр. Пловдив.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в секретариата на ФМИ, нова сграда на Пловдивския университет, каб. 330, всеки ден от 8:30 до 17:00 часа.

Автор: Иван Георгиев Минов

Заглавие: Мулти-агентна система за InfoStation архитектура

Тираж: 40 бр.

Пловдив, 2017 г

Съдържание

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	5
Цел и задачи на дисертационния труд	9
Структура и обем на дисертационния труд	10
КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	12
Глава I. Мулти-агентни системи - възникване и развитие	12
Интелигентни системи и софтуерни агенти	12
Мулти-агентни системи	12
Приложение на мулти-агентните системи	13
Глава II. InfoStation архитектура	14
Глава III. Общи постановки в разработения агентен middleware	16
Глава IV. Детайлна структура на агентите, изграждащи агентния middleware	18
Глава V. Изграждане на BDI агент	19
АВТОРСКА СПРАВКА ЗА РЕЗУЛТАТИТЕ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	21
Реализация	22
Резултати	22
Перспективи	23
БЛАГОДАРНОСТИ.....	25
ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	26
ДОКЛАДИ НА РАБОТНИ СРЕЩИ	26
БИБЛИОГРАФИЯ	27

Обща характеристика на дисертационния труд

Мулти-агентните софтуерни технологии привличат все по-голямо внимание както сред научните среди, така и в индустриалните компании. Днес съществуват множество мулти-агентни системи, които решават задачи в най-различни области, като логистика, транспорт, телекомуникации и т.н. Те са изключително разнообразни по своето предназначение, напр. интелигентни системи за управление, интелигентни системи за вземане на решение, интелигентни работни системи, интелигентни системи за обучение, интелигентни биовдъхновени системи, интелигентни виртуални предприятия и т.н.

Мулти-агентните системи се основават на взаимодействието на множество интелигентни софтуерни агенти. Те често се използват за решаване на проблеми чрез децентрализиран подход, при който няколко агента внасят своя принос в общото решение, обединявайки усилията си. Едно от ключовите полезни свойства на агентите е интелигентното поведение, което може да бъде заложено във всеки един от тях в съответствие с общия подход за решаване на задачата, в рамките на който се изисква взаимодействие на много агенти. Според M. Wooldridge, един от водещите специалисти в областта на агентните системи, „Агентът е пакетирана компютърна система, разположена в определена среда, и е способен на гъвкави, автономни действия в тази среда с оглед да реализира проектните си задачи“. Съгласно тази дефиниция ключовите характеристики на агентите са три: автономност, постоянство и възможност за взаимодействие със заобикалящата/околната среда. Агентите, придобиват свойството 'интелигентност', ако притежават някое от или всички следващи качества:

- *Реактивност* – възможност да се реагира адекватно на промени в околната среда;
- *Целенасоченост* – способност да се предприемат действия в посока на изпълнение на поставената цел;
- *Адаптивност* – възможност за нагаждане на поведението в съответствие с измененията на условията на функциониране;
- *Социалност* – възможност за коопериране или договаряне с други агенти.

Интелигентният агент може сам да формира своите цели и да решава начина си на действие за достигане на тези цели. От друга страна интелигентният агент следва да реагира на неочакваните промени в заобикалящата среда. Поради това в него следва да се реализира добър баланс между реактивност и целенасоченост. Това се постига чрез смесване на различни процедури, като: решаване на проблеми, планиране, търсене, вземане на решение, обучение на базата на натрупан опит. Много мулти-агентни системи динамично се адаптират към изменящото се натоварване и увеличаващия се обем данни.

Чрез методите на съвременните технологии стана възможно създаването на интелигентни системи за обучение, като се използват обучаващи системи с изкуствен интелект, реализирани като мулти-агентни системи. На границата на 20-ти и 21-ви век човечеството навлезе в нов период на развитие – ерата на информационното общество, Интернет и компютърните технологии. Образованието днес се разглежда като стратегически фактор за прогреса на обществото, а достигането на ново качество в тази

област се свързва с проектирането, реализацията и приложението на обучаващи среди, разработени на базата на иновационни технологии.

При тези обстоятелства става целесъобразно използването на интелигентни системи в учебния процес за образователни и тренировъчни цели. Това наложи разработване на инфраструктура, наречена „Разпределен център за електронно обучение (DeLC)“ във Факултета по математика и информатика (ФМИ) на Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“. Центърът има за цел да предоставя електронни образователни услуги и електронно учебно съдържание по иновативен начин – адаптивен, персонализиран, контекстно-зависим. DeLC е с динамична мрежова структура (Фигура 1), състояща се от възли и релации [26] [64] [65] [66] [67]. Релациите специфицират определени зависимости между възлите, върху които се разполагат електронни образователни услуги и хранилища за електронно съдържание.

В зависимост от своето предназначение възлите са няколко типа:

- *Образователни възли* – предоставят електронни образователни услуги и електронно учебно съдържание посредством подходящ потребителски интерфейс;
- *Помощни възли* – подпомагат функционирането на образователните възли;
- *Специализирани възли* – предоставят специфични услуги за потребители със специален статус.

Различават се два вида образователни възли в зависимост от достъпа до информационните ресурси, които предлагат:

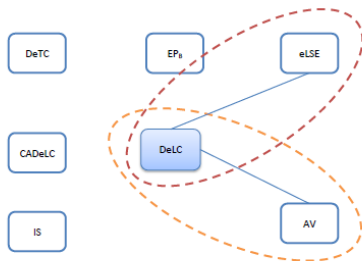
- *с фиксиран достъп* – доставят услуги и учебно съдържание през фиксирани комуникационни мрежи. Липсва специална поддръжка на мобилен достъп. Тези възли имат потребителски интерфейс, разработен под формата на образователен сайт или портал;
- *с мобилен достъп* – осигуряват доставка на мобилни услуги и електронно съдържание, чрез посредничеството на специален софтуер (middleware), през InfoStation-базирани комуникационни мрежи [22] [24] [56].

Оперирайки самостоятелно или динамично свързвайки се помежду си, възлите образуват комплексни виртуални структури, наречени образователни клъстери. Инфраструктурата на DeLC включва два основни клъстера: MyDeLC – за доставка на образователни услуги с фиксиран достъп, основно посредством образователен портал (DeLC Portal) и MobileDeLC – клъстер за доставка на мобилни образователни услуги. Предмет на настоящия дисертационен труд е основно MobileDeLC клъстерът. Той се основава на трислойна архитектура осигуряваща мобилен достъп до услуги и информационни ресурси, посредством интелигентни точки за безжичен комуникационен достъп, наречани ‘информационни станции’ (Information Stations / InfoStations / ISs), разположени в рамките на даден университет [27] [57] [62] [63].

В актуалната версия на DeLC (Фигура 1) са изградени два възела, които са за използване извън директното предназначение на инфраструктурата:

- *Education Portal for Secondary School in Brezovo (EP_B)* – възел, в който е реализиран образователен портал на СОУ “Хр. Смирненски”, гр. Брезово [76]. Той е с фиксиран достъп;

- *DeLC Test Center (DeTC)* – клъстер с отворена инфраструктура, която предлага услуги за електронно тестване, локализирани върху различни възли, с възможност за частична и автоматично контролирана интеграция, в рамките на предварително дефинирани виртуални структури [49] [79]. DeTC може да се разглежда като един нов подход за мрежово-базирано електронно тестване, където взаимодействат физически разпределени интерактивни и кооперативни единици, помощни средства, обучаеми, обучаващи и администратори [48] [50].



Фигура 1 Концептуален модел на DeLC, адаптиран от [77]

Създаден е и един специализиран възел - eLSE (e-Learning in Software Engineering) [81], в който са интегрирани SREPTICS [80], rLE [59] [68] и eLSEBuilder – средства, предназначени за подпомагане на обучението по „Софтуерни технологии“ [28] [58] [60].

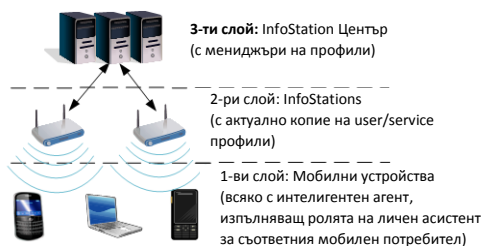
Около ядрото на DeLC се изграждат два нови възела със следното предназначение:

- *Agent Village (AV)* – помощен възел, който доставя специализирана помощ на услугите, предоставяни от образователния портал на DeLC, под формата на ‘асистенти’ [61] [69]. Асистентите са реализирани като интелигентни агенти. Агентите не са интегрирани директно в портална архитектура, а ‘населяват’ агентно-ориентирания възел AV.
- *Creativity Assistant (CADeLC)* – специализиран възел за изучаване и идентифициране на креативното мислене и действие на обучаемите. Възелът е адаптация на средата Creativity Assistant, разработена в университета Де Монтфорт, Лестър [73]. CADeLC [74] е програмна среда за събиране и съхраняване на информация за настроеността и действията на обучаемите в процеса на усвояване и прилагане на знания. Събраните данни се представят в структури, наречени ‘карти на креативност’ (creativity maps).

Цялостната концепция за DeLC, като контекстно-зависима и адаптивна инфраструктура за електронно обучение, е представена в [55]. Представеното в дисертационния труд изследване е съставна част от изграждането на инфраструктурата на DeLC.

Избраната InfoStation-базирана мрежова архитектура за изграждане на клъстера за доставка на мобилни образователни услуги позволява достъп до тези услуги на потребители, разполагащи с мобилни персонални устройства с възможности за безжична комуникация, чрез множество информационни станции (InfoStations), разположени на ключови места из университетското градче. InfoStation парадигмата може да се разглежда като разширение на мобилния Интернет, където мобилните клиенти взаимодействат директно с доставчици на електронни услуги. Тази архитектура е изградена на базата на няколко безжични комуникационни стандарта, като IEEE 802.11 WLAN (Wi-Fi), IEEE 802.15 WPAN (Bluetooth), IEEE802.16 WMAN (WiMAX) и др., за доставка на мобилни услуги на регистрирани потребители. Предимството на тази мрежова архитектура пред стандартните локални мрежи е, че предоставя възможност за лесно надстройване и конфигуриране с различни услуги и технологии. Друго предимство на този вид мрежа, е че комуникацията в нея е много по-евтина отколкото например в 3G/4G клетъчни мрежи.

InfoStation архитектурата представлява трислойна мрежова архитектура, състояща се от следните основни елементи (Фигура 2 и Фигура 3): потребителски мобилни устройства, InfoStations и InfoStation Център. Потребителите (чрез своите мобилни устройства) задават заявки за (изпълнение на) услуги към най-близката InfoStation, като се свързват с нея чрез Wi-Fi, Bluetooth или WiMAX. Организацията на InfoStation архитектурата позволява препращане на заявките към InfoStation центъра, в случай, че те не могат да бъдат изпълнени от текущата InfoStation. InfoStation центърът избира най-подходящия, евтин и бърз метод за доставяне на желаната услуга до съответния потребител в зависимост от неговото местоположение и възможностите на мобилното му устройство (напр. указани в потребителския профил).

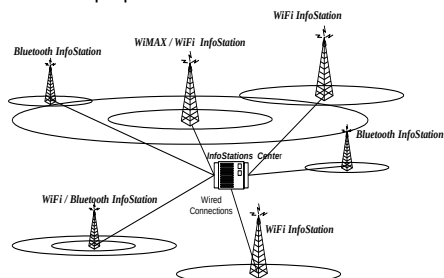


Фигура 2 Трислойна InfoStation-базирана мрежова архитектура (вертикален план), *адаптирана от [10]*

Първият слой на InfoStation-базираната мрежова архитектура включва мобилните устройства (мобилни телефони, лаптопи, таблети и др.).

Вторият слой се състои от InfoStation възли, разположени на ключови места, които предоставят на мобилните потребители достъп до услуги чрез високоскоростна безжична комуникация. За да осигури достъп до широка гама от мобилни устройства, InfoStations са пригодени да използват различни комуникационни стандарти, като Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX (Фигура 3).

Третият слой е самият InfoStation център. Неговите основни функции са да контролира отделните InfoStations, да синхронизира информацията в системата и да управлява различните типове профили.



Фигура 3 InfoStation-базирана мрежова архитектура (хоризонтален план), *адаптирана от* [31]

InfoStation архитектурата поддържа различни комуникационни сценарии за изпълнение на потребителските заявки, поради наличието на два вида мобилност – мобилност на потребителя (смяна на обслужващата InfoStation) и мобилност на устройството (смяна на крайното устройство). Основният проблем тук е управлението на потребителските сесии, по възможност без прекъсване. В контекста на двата вида мобилност са възможни следните базови сценарии:

- *Без промяна;*
- *Смяна на InfoStation;*
- *Смяна на мобилно устройство;*
- *Смяна на InfoStation и мобилно устройство.*

Възможни са също така различни модификации на тези базови сценарии.

InfoStation архитектурата е стандартна хардуерна архитектура, която не може да бъде използвана директно в инфраструктурата за електронно и дистанционно обучение. За разрешаване на тази трудност е необходимо да се създаде софтуерно решение, което да адаптира InfoStation архитектурата към инфраструктурата на DeLC. По този начин ще се получи електронно ориентирана InfoStation архитектура за обучение, която ще бъде ефективна, гъвкава по време на изпълнение на заявките и адаптивна към потребителите.

Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертационния труд е изграждане и програмна реализация на прототип на агентно-ориентирана система за доставка на мобилни образователни услуги в DeLC, оперираща върху специализирана компютърна мрежа от InfoStation мип.

За постигане на тази цел е предложена методология, с помощта на която да се очертае рамката на изследването, на основата на която да се определят задачите на дисертационния труд. Методологията е подробно описана в дисертационния труд. За реализиране на целта е предложен подход, съобразен с изискванията на съвременния стандарт OMG MDA [43] и включващ следните стъпки:

- Разработване на платформено-независим модел (ПНМ), който описва в детайли особеностите на инфраструктурата;
- Създаване на платформено-зависим модел (ПЗМ), съобразен със спецификата на използваната инфраструктура и на базата на вече разработения ПНМ;
- Реализация на ПЗМ с помощта на подходящи технологии за разработка.

На основа на предложената методология за постигане на целта и стъпките, включени в нея, са дефинирани следните задачи на дисертационния труд:

1. Анализ на инфраструктурата на клъстера за доставка на мобилни услуги в DeLC;
2. Разработване на ПНМ на клъстера за доставка на мобилни услуги в DeLC;
3. Създаване на кореспондиращ ПЗМ, съобразен със спецификата на InfoStation комуникационната среда;
4. Програмна реализация на предложения ПЗМ като модулен прототип с агентно-ориентирана архитектура.

Прототипът, резултат от изследването, е реализиран в следните три етапа:

- *Първи етап (моделиране)* – включва проучване и моделиране на всички особености на използваната InfoStation архитектура и на DeLC. Като следствие от моделирането на използваните архитектури е предоставена възможност за моделиране на агентния софтуер.
- *Втори етап (проектиране)* – свързан е с проектиране на мулти-агентния софтуер като функционалности и услуги, които могат да се предлагат. При проектирането е обърнато специално внимание на специфичните услуги, които се предоставят от агентния middleware, на начина по който потребителите имат възможност да взаимодействат с тях, както и на необходимите агенти, с чиято помощ може да се изгради агентен middleware за InfoStation архитектура.
- *Трети етап (реализация)* – свързан е с реализацията на мулти-агентния софтуер. Разработката на агентите е извършена поетапно с надграждане на тяхната функционалност. При реализацията на мулти-агентния софтуер, освен на функционалността на всеки един агент, специално внимание е обърнато и на взаимодействието между отделните агенти.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е съставен от увод, пет глави, заключение, приложения и библиография. Обемът на основната част е 194 страници, а на приложената библиография – 15 страници и включва 222 източника. Списъкът с авторските публикации по темата съдържа 4 заглавия, от които 3 на английски 1 на български език.

Уводът представлява въведение в изследваната тематика. Тук се прави преглед на базовата архитектура на Разпределения център за електронно обучение, наречен **DeLC**. Посочени са неговите основни компоненти и тяхното предназначение. Представен е следващият етап на развитие, който е изграждане на Виртуално Образователно Пространство (ВОП) и нуждата от управление на настъпилите в него събития. Коментирани са клъстерите: MyDeLC за доставка на образователни услуги с фиксиран

достъп, посредством образователен портал; и MobileDeLC за мобилен достъп до услуги и информационни ресурси посредством интелигентни точки за безжичен достъп, наречени InfoStations. В увода е дефинирана целта на дисертационния труд, като са посочени също задачите и методологията за нейното постигане.

В **Глава I** се разглежда текущото състояние в областта на мулти-агентните системи. Обърнато е внимание на появата на понятието 'изкуствен интелект'. Разгледани са осъществени проекти за мобилно обучение по света на базата на мулти-агентни системи, както и техни други приложения.

В **Глава II** е разгледана InfoStation архитектурата. Представени са възможните базови комуникационни сценарии, както и поддръжката на услугата mTest при всеки един от тях.

В **Глава III** е представено взаимодействието на потребителите с мулти-агентния middleware. Разгледано е представянето на услуги в агентния слой, както и синхронизацията на потребителска сесия в InfoStation архитектура.

В **Глава IV** са специфицирани всички агенти от агентния middleware. В детайли са представени тяхното предназначение, поведения и структура.

В **Глава V** е направена ретроспекция на съществуващите BDI платформи. Разгледана е в детайли избраната BDI4JADE платформа и са представени нейните силни и слаби страни. Предложени са решения за нейното подобряване и развитие. Подробно е описан първия BDI агент в агентния middleware.

Заклучението се състои от три части: релация, резултати и перспективи. Направено е обобщение на резултатите, приведен е граф на дисертационния труд и са посочени възможни бъдещи насоки за продължаване на изследванията по темата.

В **Приложения** са включени публикации по дисертационния труд, доклади от международни и национални конференции, на които са представени основните резултати в дисертационния труд. Също така са отбелязани научните проекти, по които са изследвани и получени част от резултатите в дисертационния труд.

Библиографията съдържа 222 заглавия на научни статии и монографии, които авторът е използвал при изследванията, свързани с дисертационния труд.

Кратко съдържание на дисертационния труд

Глава I. Мулти-агентни системи - възникване и развитие

Интелигентни системи и софтуерни агенти

‘Интелигентни системи’ е термин с широк и неприет еднозначно обхват. Така например списанието „Intelligent Systems” на компютърното дружество на IEEE (CS) има ориентация предимно към информатиката, докато в многобройните международни конференции, посветени на интелигентните системи, се наблюдава много по-широко схващане в посока на интердисциплинарност и мултидисциплинарност. Доминиращо значение тук има терминът ‘системи’. Под система се разбира както структурна характеристика (елементи, връзки, взаимодействия), така и конкретна реализация (в това число симулационна). Примерите за интелигентни системи са изключително разнообразни: интелигентни системи за управление, интелигентни системи за вземане на решение, интелигентни роботни системи, интелигентни системи за обучение, интелигентни биовдъхновени системи, интелигентни виртуални предприятия и др.

Софтуерните агенти придобиват особено значение в изграждането на интелигентните системи [53], съгласно М. Wooldridge, един от водещите специалисти в областта на агентните системи [29].

Интелигентните агенти могат да имат различна архитектура: базирана на логика, на нива на знание (напр. Belief-Desire-Intention, BDI, архитектура), слоевата архитектура и др.

Отделни компоненти на интелигентните агенти могат да бъдат следните:

- *Agent Communication Module* – служи за получаване и предаване на информация в мулти-агентната система. Използва Agent Communication Language (ACL) [14] Messages, Content Manager, Message Templates, The Foundation of Intelligent Physical Agents (FIPA) Transport Protocols [15].
- *Agent Planning and Execution Module* – модул за планиране на действията на агента и за изпълнение на основните агентни функции в системата.
- *Agent Knowledge Base* – модул, съдържащ локалните знания на агента, напр. за: планиране, действия, възможни решения, състояния и събития, отнасящи се за агента.

Мулти-агентни системи

Мулти-агентните системи (MAC) са следваща стъпка в разширението на възможностите на автономните интелигентни агенти. Те са един от възможните (вероятно най-добри) модели на разпределена изкуствена интелигентност (distributed artificial intelligence), породени от опита да се имитира поведението на хора, работещи заедно.

Използването на мулти-агентни системи дава очевидни преимущества при решаване на вътрешно сложни проблеми, които не могат да бъдат решени с отделна софтуерна или хардуерна система.

Такива са случаите, при които данни, информация и знание:

- Са разсъсредоточени пространствено;

- Отнасят се за различно време;
- Представяват клъстери, които изискват различни методи за обработка или имат различен смисъл.

Такива проблеми изискват разпределено решение, което може да бъде предоставено от агенти, работещи едновременно като мулти-агентна система.

Мощно влияние за развитието на мулти-агентните системи оказва и книгата "Ghost in the Machine" [35] на британския публицист Артур Кестлер, издадена още през 1967 г., където той разказва за подсистеми, включени в състава на голяма система. Тази подсистема той нарича 'холом' от гръцката дума 'холос', която означава 'цяло', с добавката на суфикса '-он', означаващ 'част' [18] [78].

Приложение на мулти-агентните системи

Най-напред е разгледано приложението на мулти-агентните системи в сферата на мобилното обучение (mobile learning) [71]. Доказателства за перспективността на този метод в образованието могат да се търсят освен в задълбочените анализи и в базираните на тях стратегии за развитието на Европа, така и в подкрепата на конкретни реализации и изпълнение на m-learning проекти в Канада, САЩ, Великобритания, Германия, Швеция и др., като най-успешните от тях са разгледани по-нататък в главата.

Мобилното обучение се осъществява с леки устройства като таблети, мобилни телефони и др., които могат да се свържат към Интернет с помощта на безжични комуникационни технологии. Така учащите се безпроблемно и гъвкаво получават информация в контекста на тяхното обучение [1]. Мобилното обучение не зависи от времето и от мястото. Приложенията му се разглеждат като еволюция на електронното обучение, но то има собствена терминология [36]. Основните характеристики на мобилното обучение са: спонтанност, портативен размер на мобилните инструменти, смесено обучение, лично, незабавна информация, дълготрайност, близост, интерактивност, учебни дейности, обучение в сътрудничество, податливост, простота [46] [1].

Обобщавайки ползата от мобилното обучение, се стига до заключението, че то премахва ограниченията при получаване на образование, свързано с местонахождението и наличието на достъп до Интернет, с помощта на използването на безжични комуникационни технологии, като 3G/4G, Bluetooth, Wi-Fi и др. Мобилното обучение използва много (анимирани) изображения, видео и аудио, благодарение на които уроците се усвояват по-добре. По този начин много бързо мобилното обучение се превръща в структурен елемент на масовото образование и обучение.

Примерни агенти, които могат да се използват в мулти-агентни системи за (мобилно) обучение, са следните [75]: персонален агент, обучаващ агент, демо-агент, агент-инструктор, агент 'свободно изследване', агент 'проблемни задачи', тестващ агент, агент 'рейтинг-списък', агент 'курсова работа', агент 'тренинг-практикум'. Всеки агент записва информация за действията на потребителя, отнасяща се до неговата специална област, в определените за целта полета. Всеки от агентите има право на достъп до информация за конкретен обучаем от рейтинг-списъка, отнасяща се за неговата

специфична задача. В този смисъл рейтинг-списъкът играе роля на своеобразна 'дъска за обявления', чрез която агентите комуникират [75].

В края на главата са разгледани и други сфери на приложение на мулти-агентните системи, като финанси, екология, електронна търговия, библиотеки и др.

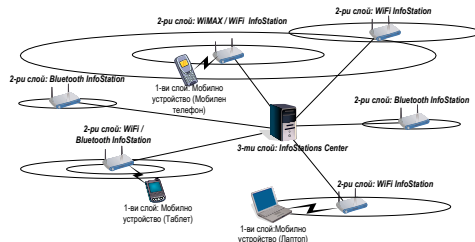
От първата глава на дисертационния труд може да се направи заключение, че бързото развитие на компютърните технологии е довело до повсеместното им използване във всички сфери на обществото, което заедно с бързата интеграция на изкуствения интелект и компютърната интелигентност създава предпоставки за изграждането на интелигентни информационни системи, при което особено значение придобиват софтуерните агенти. Направеният анализ на необходимостта от използване на мулти-агентни системи, тяхното приложение в мобилното обучение и типовете агенти, които се използват доказва, че мобилните технологии намират все по-голямо място в обучението и са предпочитано средство за информация.

Глава II. InfoStation архитектура

Тази глава започва с представяне на InfoStation парадигмата, която първоначално е предложена от WINLAB лабораторията на университета Рутгерс (САЩ) за предоставяне на мобилни услуги от вида 'many-time, many-where' [17], като алтернатива на клетъчните безжични мрежи от второ поколение (2G) с цел преодоляване на някои техни недостатъци. Посочено е, че InfoStation идеята не цели осигуряването на повсеместно покритие, а предлагането в някои по-специални места (т.нар. 'джобове') на високо-скоростна свързаност за достъп до (негласови) услуги, които толерират (за разлика от гласовите услуги) известно закъснение, характерно за прекъснатата свързаност [33]. По същество, InfoStation концепцията разменя по-голямо закъснение (при получаването на услуги) за по-добър комуникационен (мрежов) капацитет, като в резултат на това потребителите могат да използват по-високи скорости за комуникация, за сметка на наличието на прекъсната свързаност [54]. Основната идея е, че когато потребител навлезе в InfoStation зоната, неговото мобилно устройство може много бързо да се 'напълни' с информация, т.е. да му се предадат данни (като част от някаква услуга) с много висока скорост. В зависимост от средата тези InfoStations могат да оперират по различен начин – или като 'изолирани' клетъчни възли, или като част от географски клъстер, или като единна система, интегрирана в среда тип 'университетско градче'. Последният вариант е във фокуса на настоящия дисертационен труд.

По-нататък в главата се разглежда използваната трислойна InfoStation-базирана мрежова архитектура, позволяваща безжичен достъп до услуги за мобилно обучение (m-learning) за потребители с мобилни устройства (с възможности за безжична комуникация като IEEE 802.11 WLAN (Wi-Fi), IEEE 802.15 WPAN (Bluetooth), IEEE802.16 WMAN (WiMAX) и др.) чрез множество информационни станции (InfoStations), разположени в ключови точки на даден университет (или университетско градче) [19] [20] [23]. Тази InfoStation архитектура се състои от следните основни елементи (Фигура 4): потребителски мобилни устройства, InfoStation и InfoStation център. Потребителите (чрез своите мобилни устройства) правят заявки за (изпълнение на) m-learning услуги към най-близката InfoStation, като се свързват с нея чрез Wi-Fi, Bluetooth, или WiMAX. Организацията на

InfoStation архитектурата позволява препращане на заявките към InfoStation центъра, в случай, че те не могат да бъдат изпълнени от самата InfoStation. InfoStation центърът избира най-подходящия, евтин и бърз метод за доставяне на желаната услугата до съответния потребител в зависимост от неговото текущо индивидуално местоположение и възможностите на мобилното му устройство (напр. указани в потребителския профил). InfoStation центърът поддържа актуално хранилище на всички потребителски профили, профили на услугите и електронното им съдържание. Самите InfoStations поддържат кеширани копия от всички последно използвани потребителски профили и профили на услугите, както и локално хранилище на кеширано електронно съдържание.



Фигура 4 Трислойна InfoStation-базирана мрежова архитектура, *адаптирана от [21]*

Информационните станции (InfoStations) се използват като интелигентни точки за безжично свързване и като доставчици на електронни услуги за мобилните устройства. Функционирането на всяка InfoStation се контролира и управлява от агентно-ориентирана система, в която всеки агент изпълнява специфични задачи [56]. Например, в първия слой на тази архитектура се използват интелигентни агенти, инсталирани върху мобилните устройства, които изпълняват ролята на персонални помощници, опериращи автономно за подпомагане работата на потребителите. При заявяване и използване на услуги от страна на потребителите тези агенти комуникират с други агенти, разположени в другите слоеве на архитектурата.

При изпълнение на потребителските заявки InfoStation архитектурата предполага различни комуникационни сценарии. Тези сценарии възникват поради наличието и поддръжката на два вида мобилност: мобилност на потребителя (свързана със смяна на обслужващата InfoStation) и мобилност на устройството (свързана със смяна на крайното устройство). Основният проблем тук е управлението на потребителските сесии върху трите слоя на InfoStation архитектурата. В контекста на двата вида мобилност са възможни следните четири базови комуникационни сценарии [25]:

- *Без промяна* – най-простия сценарий, при който по време на потребителската сесия (изпълнението на заявката за услуга) мобилното устройство и InfoStation не се променят, т.е. потребителят не сменя мобилното си устройство и не напуска зоната на обслужване на текущата InfoStation, докато протича текущата сесия. Този сценарий е аналог на ‘sit-through’ сценария, разгледан в [8] [9] [32];
- *Смяна на InfoStation* – по време на сесията потребителят излиза от зоната на обслужване на първоначално обслужващата го InfoStation и навлиза в зоната на обслужване на друга InfoStation, но използва същото мобилно устройство;

- *Смяна на мобилно устройство* – потребителят сменя мобилното си устройство по време на сесията, но остава в зоната на обслужване на текущата InfoStation (напр. сесията се прехвърля от мобилен телефон към лаптоп или таблет);
- *Смяна на InfoStation и мобилно устройство* – това е най-сложният сценарий, при който и мобилното устройство и обслужващата InfoStation се сменят по време на потребителската сесия.

Последните три сценария имат общи елементи с 'walk-through' и 'drive-through' сценариите, дефинирани в [8] [9] [32]. Възможни са също така различни модификации на четирите базови сценарии.

В края на втора глава на дисертационния труд е разгледан проблемът, свързан с адаптацията на услугите в InfoStation среда и използването на потребителски профили, и профили на услугите за тази цел. За реализиране на тези профили се използва единният формат „Composite Capabilities/Preference Profile“(CC/PP) [34], който е платформено независим и базиран на Resource Description Framework (RDF) [37], и е препоръчан за използване от World Wide Web Consortium (W3C) [72]. Когато даден потребител (мобилно устройство) потвърди искането си за използване на определена услуга, източникът на тази услуга (т.е. InfoStation или InfoStation център) персонализира и адаптира съответното електронно съдържание, за да отговори то 'най-добре' на предпочитанията на този потребител, възможностите на текущото му мобилно устройство и ограниченията, налагани от комуникационната мрежа. CC/PP профилът съдържа редица атрибути и съответните им стойности, които се използват от InfoStations за определяне на най-подходящия формат на ресурса, в който той да бъде предоставен на съответния потребител.

Глава III. Общи постановки в разработения агентен middleware

В трета глава на дисертационния труд е изследван и анализиран разработеният агентен middleware и взаимодействието му с потребителите. Формулирани са основните елементи на това взаимодействие (потребителска активност), които системата поддържа: потребителска мобилност и използване на ресурси. Подробно е разгледан всеки един елемент. Направен е пълен обзор на всички части на потребителската мобилност: вписването и отписването на потребител от мулти-агентната система със съответната роля на Personal Agent, връзката на агентно ниво между Personal Agent и мулти-агентния middleware. При използването на ресурси важно място имат информирането за достъпните услуги и взаимодействието с услугите. За успешното им реализиране от голямо значение е сътрудничеството между разработените агенти: Manager Agent, Reception Agent, Personal Agents, Service Register Agent и др.

По-нататък в тази глава се доказва необходимостта от съществуването на множество агенти, ангажирани с точното и качествено изпълнение/предоставяне на предлаганите на потребителите услуги. Доказана е важността от по-нататъшно усъвършенстване ролята на агентите в предлагането на различни услуги чрез мобилни устройства. Представени и анализирани са етапите за изпълнение на една типична услуга,

които включват: подаване на заявка за изпълнение на услугата от страна на потребителя; подготовка за изпълнение на услугата в агентния middleware; изпълнение на услугата; връщане на резултата от изпълнението на услугата към потребителя; освобождаване на заделените ресурси. Идентифицират се възможностите на организацията по отношение използването на (локален) йерархичен каталог с услуги, включващ детайли за желаната услуга, със съответните му подкаталози.

Наличието на множество агенти и взаимодействието им на всеки етап от извършване на дадена услуга води до бързо и качествено обслужване. Описана е ролята на Interface Agent, който поема изпълнението на услугата и има директен контакт с нея, и на Manager Interface Agent, който управлява агентите, изпълняващи предлаганите от него услуги. Подчертана е ролята за подготовка на резултата от страна на Manager Agent с цел трансформирането му във вид, подходящ за представяне върху потребителското мобилно устройство и изпращането му до Personal Agent, който е отговорен за представянето му на потребителя. Целият този процес представлява едно типично изпълнение на услуга от мулти-агентния middleware.

Въз основа на направения анализ на работата на агентите по осигуряване на услуги за потребителите се налага заключението, че агентите са необходими във всеки един момент от осъществяване на предлагана услуга.

Ценен принос в разработване на темата на дисертационния труд е постигнат в представянето на услугите в мулти-агентния слой, където са заложени две основни концепции: каталог на услугите и съответствие 'услуга-агент/и/'. Формулирани са основните роли на агентите. Подробно е описана дейността на: агента, собственик на каталог; останалите агенти, които търсят и използват услугите; Manager Interface Agent, който представя дадена услуга в мулти-агентната архитектура; множеството от агенти (Interface Agents), чиято цел е да обслужват заявки за дадена услуга през целия ѝ жизнен цикъл.

В тази глава на дисертационния труд се обръща особено внимание на каталога на услугите, който по своята същност е Directory Facilitator (DF) агент, осигуряващ услугата 'yellow pages'. Детайлно е проследено федерирането на различни агенти. Подробно е разгледана и структурата на йерархичния каталог с услуги, където агентите могат да взаимодействат помежду си с цел изпълнение на дадена услуга.

Обърнато е специално внимание на потребителската сесия в мулти-агентния middleware, поддържана от InfoStation архитектурата. Дефинирани са няколко вида сесии: според времето на активност и според представянето на сесия в InfoStation. Според времето на активност сесиите са класифицирани като текущи (актуални) и стари, а според представянето им в InfoStation – като локални и глобални.

Определени са необходимите етапи за извършване на синхронизация на сесия по 1-ви и 2-ри комуникационен сценарий на InfoStation архитектурата – търсене на стара сесия и извършване на синхронизация на стара сесия с актуалната сесия. Дефинирани са и възможни подходи за извършване на синхронизиране на сесия, като за всеки един от тях са изтъкнати предимствата и недостатъците му. Разгледана е реализацията на механизма за синхронизиране на сесии, която от своя страна е обвързана с изграждането

на инфраструктура за синхронизиране и с осъществяването на същинския процес на синхронизиране.

Глава IV. Детайлна структура на агентите, изграждащи агентния middleware

В тази глава подробно е описана структурата на основните видове разработени агенти, разгледани съобразно предназначението им в middleware. Представени са характеристиките на всеки един от тях, видът на ангажираността им и задачите за изпълнение, за които са отговорни (Таблица 1).

Агент	Тип	Брой в InfoStation	Основно предназначение
Reception Agent	постоянен	1	Отразява състоянието на потребителя в middleware
Catalog DF	временен	0...n (n вида услуги)	Агент-собственик на каталог с услуги
Catalog DF Sync	постоянен	1	Агент-собственик на каталога за сесийна услуга
Service Reception Agent	постоянен	1	Филтрира услугите достъпни за потребителите
Manager Interface Agent	временен	0...m (m предлагани услуги)	Предлага конкретна услуга
Interface Agent	временен	0...k (k изпълняващи се услуги)	Изпълнява услуга
Manager Agent	временен	0...p (p вписани потребители*)	Обслужва потребителя в middleware
Manager Find Sync	временен	0...г (г търсения на сесии)	Търси <i>стари</i> сесии
Personal Agent	временен	0...p (p вписани потребители)	Обслужва потребителя върху мобилното устройство
Service Register Agent	постоянен	1	Управлява състоянието на предлаганите услуги в middleware

Таблица 1. Основни характеристики на агентите от мулти-агентния middleware

Подробно са разгледани множеството от поведения, с чиято помощ агентите изпълняват своите задачи. За всеки агент е представена взаимовръзката му с други видове агенти от агентния middleware, пряко или непряко влияещи върху поведението му. Идентифицирани са и артефакти, необходими на отделните агенти за изпълнение на техните задачи.

Съобразно предназначението им са определени два типа агенти: постоянни и временни. Постоянните агенти са налични през цялото време на съществуване на агентния middleware, а временните – само докато изпълняват своите задачи. Показано е, че при изпълнение на своите задължения, агентите си съдействат и могат да оказват влияние един на друг, чрез своите действия и изпълнения на задачи.

Не по-малко важни заключения се правят и за поведението. Подобно на агентите и те са класифицирани на два вида: активни (през целия жизнен цикъл на агентите) и неактивни. Съобразно постигнатите цели поведението се активират и деактивират в определени етапи от живота на даден агент. Моделирани са всички протичащи процеси в агентния middleware, касаещи дейността на всеки един вид агент.

Глава V. Изграждане на BDI агент

Тази глава започва с подробно изследване и описание на архитектурата за проектиране и прилагане на когнитивни агенти Belief-Desire-Intention (BDI) [5], [6], [52], базирана на вярвания, желания и намерения. Извършена е съпоставка на съществуващи BDI платформи за агенти [2], [4], [11], [12], [13], [16], [30], [47], [51]. Направен е преглед на избраната BDI платформа – BDI4JADE [38], [39], [40], [41], [42], [52], представляваща надстройка на използваната агентна платформа JADE [3]. Открити са някои нейни недостатъци, като след това са представени и разгледани подходи за нейното разширяване. Дефинирани са (и в детайли са представени) видовете цели и планове на BDI агент – статични, динамични и хибридни. Тъй като една от подцелите на дисертационния труд е разработването на 'интелигентни' агенти и тяхното внедряване в агентния middleware, е посочен път за миграция на агенти към BDI модел. Агентите се изграждат чрез използване на термините и разбиранията за агент на JADE, т.е. тяхната реализация е съобразена изцяло с task-ориентирания модел.

Разширяването на BDI4JADE включва предоставяне на нови гъвкави видове цели и планове. Това е перспективен подход за създаване и реализиране на интелигентни агенти, които имат възможност динамично да определят и конфигурират своите цели и планове по време на жизнения си цикъл. Динамиката на целите се изразява в това, че те могат динамично да се конструират в зависимост от състоянието на обкръжаващата среда на агента, като съдържат актуални данни за предстоящите намерения на агента. На основа на тези динамични цели агентите се нуждаят от поведения, на чиято база да се конфигурират за тяхното изпълнение. С помощта на тези предложени и направени нововъведения в BDI4JADE се избягва предварителното дефиниране на възможните цели и евентуални състояния на обкръжаващата среда, и предварителното дефиниране на евентуалните действия от страна на агентите.

Ценен принос на дисертационния труд е дефинирането на хибридна (базова инициализационна-динамична) цел на агентите, с която се надграждат възможностите

на BDI4JADE. Този нов вид цел притежава предимствата на базовите и инициализационно-динамичните цели, но за разлика от последните, при които единствено в момента на инициализиране на поведението се задават нужните конфигуриращи параметри, при него се допълва и възможността на базовите цели. Така по време на изпълнение на поведението целта може да окаже влияние върху него чрез част от своите параметри. Важно уточнение е, че тези параметри са различни от параметрите, конфигурирали поведението при неговата инициализация.

В BDI4JADE е предоставена възможност за разработване на собствени планове според нуждите. Благодарение на тази отвореност откъм надграждане, на BDI елементите от BDI4JADE се предоставя възможност за лесно разработване на планове, които да поддържат нововъведените видове цели. Това налага разграничаване на различни видове планове според вида на целите, с които работят, т.е. съответно базов и хибриден вид планове.

Разгледан е подробно първият вид агент от създадената мулти-агентна система за InfoStation архитектура, разработен чрез BDI модела – Service Register Agent (SRegA). Детайлно е моделиран всеки един от процесите, отнасящи се до него в агентния middleware. SRegA е агент от постоянен тип. Броят на активните агенти от този вид, разположени върху една InfoStation, е един. В цялата InfoStation мрежа съотношението между броя на активните агенти (n) от този вид и броя на InfoStation (n) е 1:1. На всеки SRegA агент са възложени всички операции по управление и отразяване на състоянията на предлаганите услуги в съответната му InfoStation в йерархичния локален каталог с услуги. Освен това този агент управлява и отразява състоянията на сесийните услуги в йерархичния каталог на сесията. SRegA агентът е свързващото звено между всички агенти, предлагащи някакъв вид услуга в агентния middleware, със съответния каталог, в който предлаганата услуга трябва да бъде регистрирана, променена или отписана.

Освен управление на услугите, SRegA агентът извършва и управление на каталозите с услуги, които са част от йерархичния локален каталог с услуги. Този агент е отговорен за активиране и деактивиране на каталози към/от йерархичния локален каталог. Съответно при отписване на всички услуги от даден каталог, агентът има отговорността да го деактивира до настъпване на момент, когато отново е необходим.

Представени са вярванията, способностите, плановете, целите и поведението на SRegA агента. В зависимост от спецификата на изпълняваните задачи на него му се налага използването на различни вярвания от базата с вярвания, която той изгражда въз основа на работата си и резултатите, постигнати от изпълнението на съответните задачи. Важно е да се отбележи, че в представената реализация базата от знания на агента се съхранява не в база от данни (БД), а единствено във временната памет (RAM) по време на жизнения му цикъл. Това е така, защото за изграждане на вярванията са използвани предоставените механизми от избраната архитектура, т.е. BDI, а тя към момента на реализация на този агент предоставя единствено съхранение в оперативната памет на базата с вярвания на своите BDI агенти. Разбира се, разширяването на този механизъм със съхраняване на вярванията в БД не представлява трудност и може да бъде реализирано като следваща стъпка от реализацията на системата. Към момента интерес представлява изследването за изграждане на BDI агент, който да е базиран на BDI архитектура с използване на

средствата, предоставени от BDI платформата, но в следващ етап от разработката този агент ще бъде разширен с тази функционалност.

Както всяка структура от данни и базата от вярвания на агента е необходимо да бъде манипулирана, за да е актуална и за да отразява правилно обкръжаващата среда на агента. За осъществяването на тази задача са отговорни изпълняваните планове (на поставените цели). За манипулацията с базата от знания на съществуващите каталози са допустими следните операции: добавяне на вяра; премахване на вяра; проверка за истинност.

Разработеният като BDI агент SRegA притежава четири способности, които (взети заедно) представляват всички негови умения в системата. Четирите способности включват в себе си всички цели, планове и вярвания на агента. Важно е да се отбележи, че всяка една от способностите има достъп до един и същи ресурс (цели, планове, вярвания) на агента, т.е. те са споделени между всяка една от способностите на агента. Способностите на SRegA агента представляват уменията му да: регистрира услуги; deregистрира услуги; активира каталози; деактивира каталози; извършва допълнителни помощни дейности, свързани с горепосочените, напр. известяване и проверка за съществуване на услуги, и др. При инициализиране на способностите на разработения агент се създават база от вярвания и библиотека с планове. Множествата от цели и планове на SRegA агента са взаимосвързани. Всяка цел от множеството с цели на агента има връзка към един или повече негови планове. Тази връзка се базира на факта, че всяка една цел на агента може да бъде преследвана и изпълнена по различни начини. Начинът, избран от агента за изпълнение на целта, е именно неговият план. В представената реализация агентът разполага с предварително дефинирани множества от цели и планове, като връзката помежду им е предварително обособена.

Важен момент от жизнения цикъл на SRegA агента е неговото активиране. Продиктувано от характера му на постоянен агент в разработения агентен middleware, активирането на този агент настъпва при стартиране на системата. В началото на процеса в агента се регистрират всички онтологии, езици и протоколи, необходими за постигане на неговите цели и изпълнение на задачите му. Следващата стъпка е агентът да инициализира всички свои способности, като: 'Register Service', 'Deregister Service', 'Activate Catalog' и 'Deactivate Catalog'. Способностите на агента обновяват неговите знания, вярвания и планове, които са му необходими при извършване на манипулации с услуги и каталози. При активирането на агента в множеството с активни поведения се добавя поведението 'Service Management'. То е входната точка за стартиране и изпълнение на способностите на агента в зависимост от това, което се случва в неговата обкръжаваща среда.

Проведеният анализ на BDI платформи и проектиране и реализиране на BDI агент позволява да се направи извода за относително лесната миграция на агенти към BDI модел, разработени чрез task-ориентирания модел на JADE.

Авторска справка за резултатите в дисертационния труд

Дисертационният труд представлява едно изследване в областта на мулти-агентните технологии и по-специално в изграждането на мулти-агентна система за

InfoStation архитектура с възможности за поддръжка на различни комуникационни сценарии, осигуряваща агентно представяне в йерархични каталози на предлаганите услуги.

Реализация

При реализацията на клъстера за доставка на мобилни услуги MobileDeLC са използвани следните технологии:

- Java Standard Edition (J2SE) [45] – предоставя възможност за разработване на настолни (desktop) и сървърни приложения, като предлага богат потребителски интерфейс, производителност, гъвкавост, преносимост и сигурност, които изискват днешните приложения. Използвана е за изграждане на мулти-агентната система, която се разполага върху информационните станции (InfoStations).
- Java 2 Micro Edition (J2ME) [44] - осигурява здрава и гъвкава среда за приложения, работещи на мобилни и вградени устройства: мобилни телефони, цифрови декодери, blu-ray диск плейъри, цифрови мултимедийни устройства, принтери и др. Използвана е за изграждане на мобилно приложение, в което е внедрен агентът Personal Assistant (PA).
- JADE [70] – представлява рамка за разработване на агенти, изцяло базирана на JAVA, улесняваща разработването на мулти-агентни системи чрез спазване на FIPA спецификациите. Разработената мулти-агентна система е базирана на възможностите предоставени от JADE.
- LEAP [7] – добавка към JADE, която предоставя възможност за разполагане на JADE агенти върху мобилни устройства, разполагащи с JAVA. LEAP е използвана при реализацията на PA агента, като чрез нея се осъществява връзката между мулти-агентната система на InfoStations с мобилното приложение, в което е внедрен PA.
- BDI4JADE [39] - реализация на BDI архитектура, която представлява надграждане на агентната рамка JADE. BDI4JADE предоставя възможност JADE агенти, които следват 'task'-ориентирания модел, да бъдат преработени и да следват BDI модел. Използвана е за разработването на SRegA агента.

Резултати

Успешно е изграден и програмно реализиран прототип на агентно-ориентирана система за доставка на мобилни образователни услуги в DeLC, оперираща върху специализирана компютърна мрежа от InfoStation тип. Дисертационният труд дава решение на класическия проблем за поддържане на „жива“ сесия при преминаване от една входна точка в друга чрез агентен middleware. Архитектурата на разработения агентен middleware е динамична и реагира на промени в околната/заобикалящата среда, като се разширява и свива.

Резултатите на дисертационния труд могат да бъдат обобщени както следва:

1. Извършен е анализ на InfoStation архитектурата, използвана от MobileDeLC. Разгледани са основните видове комуникационни сценарии в нея, съгласно

различни видове мобилност – на потребител и на устройство. Представено е предоставянето на типична услуга (mTest) във всеки един от сценариите.

2. Разработен е платформено-независим модел (ПНМ) на MobileDeLC, който описва в детайли особеностите на инфраструктурата. Включва: дефиниране и моделиране на различни видове агенти, съгласно тяхното предназначение, и на потребителската мобилност в агентния middleware; моделиране на агентна инфраструктура за предоставяне на достъп и изпълнение на услуги чрез агентния middleware; моделиране на сесийна услуга в него.
3. Разработен е платформено-зависим модел (ПЗМ) на MobileDeLC, включващ: проектиране и специфициране на конкретни агенти в агентния middleware; дефиниране на различни видове цели и планове, представляващи разширение на BDI платформата – BDI4JADE; проектиране на моделите от разработения ПНМ.
4. Реализиран е агентен middleware, включващ: реализация на моделираните и проектираните агенти – реализация на task-ориентирани агенти и BDI агент; реализация на дефинираните видове BDI цели и планове; изграждане на агентно-ориентирано предоставяне на услуги; агентно-ориентирана реализация на управлението на потребителска сесия на база различни комуникационни сценарии от InfoStation архитектурата.

Таблица 2 показва връзката между резултатите, структурата на дисертационния труд и направените публикации.

Резултат	Тип	Задача	Публикация	Глава
1	Научно-приложен	1	3	II
2	Научно-приложен	2	1, 2, 4	III, IV
3	Научно-приложен	3	1, 2, 4	III, IV
4	Научно-приложен	4	1, 2, 4	IV, V

Таблица 2. Граф на дисертационния труд

Перспективи

Представеният мулти-агентен middleware може да бъде развиван в следните насоки:

- *Интегриране в DeLC на образователния възел, предлагащ мобилен достъп.* По този начин ще се предостави възможност на потребителите да използват предлаганите в DeLC услуги чрез мобилните си устройства, обслужвани от мулти-агентен middleware. Също така тази стъпка ще доведе до пълноценно използване на DeLC в предлагането на електронни услуги и съдържание с помощта на двата вида възли – с фиксиран достъп и с мобилен достъп.
- *Изграждане на графичен интерфейс за агентния middleware.* С негова помощ ще се даде възможност за администриране и контрол на агентите в агентния middleware.

- *Подобряване и разширяване на РА агента и най-вече на мобилното приложение, в което той е внедрен.* Приложението трябва да бъде разработено със съвременни модерни технологии, съобразени с популярните мобилни операционни системи – Android и iOS.
- *Извършване на агентно-ориентирано описание и характеризиране на всеки вид услуга, която ще се предоставя чрез агентния middleware.* За да бъде възможно предоставянето на услуга е необходимо тя да бъде описана в термините на агентите. По този начин ще се предостави възможност за нейното включване в определен каталог в агентния middleware. Така услугата лесно може да бъде открита и използвана от страна на агентите, при наличие на заявки от потребителите.
- *Мигриране на съществуващи агенти от агентния middleware към BDI архитектура.* По този начин ще бъде разработен не просто агентен middleware, а интелигентен такъв.
- *Разширяване на възможностите на агентния middleware* чрез създаване на нови агенти за извършване на специфични дейности в него. По този начин агентният middleware ще се усъвършенства с цел по-добро и по-пълно обслужване на потребителите.
- *Използване на модерни подходи* – операции на горно ниво, копиране, клонинг и др.

Благодарности

Искам да изкажа своите благодарности към хората, без които резултатите от този дисертационен труд не биха били възможни.

Благодаря на научните си ръководители: на проф. д-р Станимир Стоянов – за посочения правилен път и напътствията през годините и на доц. д-р Иван Ганчев за навременната помощ и светлината в тунела.

Благодаря и на майка ми – Веска Минова, без която нещата нямаше да се случат.

Публикации по дисертационния труд

1. **Minov, I.**, "E-Service Presentation In an Agent-Oriented Middleware", International Conference "From DeLC to VelSpace", Plovdiv, Bulgaria, 26-28 March 2014, pp. 207-216, ISBN: 0-9545660-2-5
2. **Minov, I.**, D. Mitev, "Agent-Oriented Middleware Supporting Delivery of Mobile eLearning Services", Anniversary International Conference REMIA 2010 (Research and Education in Mathematics, Informatics and their Applications), Plovdiv, Bulgaria, 10-12 December 2010, p. 279-286, ISBN: 978-954-423-648-9.
3. Stoyanov, S., I. Popchev, E. Doychev, D. Mitev, V. Valkanov, A. Stoyanova-Doycheva, V. Valkanova, **I. Minov**, DeLC Educational Portal, Cybernetics and Information Technologies (CIT), Vol.10, No 3., Bulgarian Academy of Sciences, 2010, pp. 49-69, ISSN: 1311-9702
4. Stoyanov, S., I. Ganchev, M. O'Droma, D. Mitev, **I. Minov**. 2008. "Multi-Agent Architecture for Context-Aware mLearning Provision via InfoStations". Proc. of the 5th International Conference on Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology (CSTST 2008), Pp. 549-552, 27-31 October, Cergy-Pontoise, Paris, France. ACM ISBN 978-1-60558-046-3. DOI: 10.1145/1456223.1456334.

Доклади на работни срещи

1. **Minov, I.**, "Context-aware and Adaptable Middleware Architecture", 10th International Workshop "Software Engineering Education and Reverse Engineering", Ivanjica, Republic of Serbia, 6 – 11 September, 2010, <http://www2.informatik.hu-berlin.de/swt/intkoop/daad/ivan2010/>
2. **Minov, I.**, "Agent-Oriented Middleware Supporting eLearning Services", 9th International Workshop "Software Engineering Education and Reverse Engineering", Neum, Bosna i Hercegovina, 31 August - 05 September, 2009, <http://www2.informatik.hu-berlin.de/swt/intkoop/daad/neum2009/>.
3. **Minov, I.**, S.Stoyanov, "An Architecture for Mobile eLearning Services", 8th International Workshop "Software Engineering Education and Reverse Engineering", Durres, Albania, 8 – 13 September, 2008.
4. **Minov, I.**, "Multiagent-based Infostation architecture", Workshop Creativity and Innovation in Software Engineering, Smolian, Bulgaria, 11-13 November 2008
5. **Minov, I.**, "Agent-Oriented InfoStation Architecture", 7th International Workshop "Software Engineering Education and Reverse Engineering", Rissan, Monte Negro, 9-14 September, 2007, <http://www2.informatik.hu-berlin.de/swt/intkoop/daad/>
6. **Minov, I.**, SELBO Agent, 6th International Workshop Software Engineering Education and Reverse Engineering, Ravda, Bulgaria, 18 – 23 September, 2006.

Библиография

- [1] Adelsberger, K., J.M. Pawlowski, D. Sampson,., 2008, p. 465, ISBN 978-3-540-74154-1.
- [2] AOS, JACK Intelligent Agents® - Agent Manual.
<www.aosgrp.com/documentation/jack/Agent_Manual.pdf>
- [3] Bellifemine, F., Caire, G., Greenwood, D., *Developing Multi-Agent Systems with JADE (Wiley Series in Agent Technology)*.: John Wiley & Sons, 2007.
- [4] Bordini, R., Wooldridge, M., Hubner, J., *Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason*.: John Wiley & Sons, 2007.
- [5] Bratman, M. , *Intention, Plans, and Practical Reason*. Cambridge: Harvard University Press, 1987.
- [6] Busetta, P., Howden, N., Ronnquist, R., Hodgson, A., "Structuring BDI agents in functional clusters" в *ATAL '99*, 2000, pp. 277–289.
- [7] Caire, G., Federico, P., *Leap user guide*.
- [8] Cavalcanti, D., et al., "Capacity Study of an One-dimensional Mobile Infostations Network" в *IEEE Workshop on Applications and Services in Wireless Networks (ASWN 2002)*, Parsi, France, 2002.
- [9] Cavalcanti, D., et al., "Mobile Infostations: A Paradigm for Wireless Data Communications" в *The IASTED International Conference on Wireless and Optical Communications (WOC 2002)*, Banff, Alberta, Canada, 2002.
- [10] D. Meere, I. Ganchev, M. O'Droma, "Mobile Phones as Learning Instruments: mLearning Service Provision within an InfoStation-based Multi-Agent Environment" в *International Conference on Telecommunication Technology and Applications (ICTTA 2011)*, Sydney, Australia, ISBN 978-981-08-8636-3 , 2-4 May 2011, pp. 1-6.
- [11] Dastani, M. , *3APL Platform - User guide*., 2006.
<<http://www.cs.uu.nl/3apl/download/java/userguide.pdf>>
- [12] Dastani, M., Riemsdijk, M., Dignum, F., Meyer, J., "A programming language for cognitive agents goal directed 3apl", *Programming Multi-Agent Systems*, vol. 3067, pp. 111-130, 2004.
- [13] Fawcett, J., Quin, L., Ayers, D., *Beginning XML*, 5th ed.: John Wiley & Sons, Inc., 2012, ISBN: 978-1-118-16213-2.
- [14] FIPA, *Agent Communication Language Specifications*.
<<http://www.fipa.org/repository/aclspecs.html>>
- [15] FIPA, *Agent Message Transport Protocol Specifications*.
<<http://www.fipa.org/repository/mtps.php3>>
- [16] Fowler, M., Parsons, R., *Domain-Specific Language*., 2010.

- [17] Frenkiel, R., et al., "The Infostations challenge: balancing cost and ubiquity in delivering wireless data", *IEEE Personal Communications*, vol. 7, pp. 66-71, April 2000.
- [18] G. Rzevski, P. Skobelev, *Managing complexity*. London—Boston: WIT Press, 2014.
- [19] Ganchev, I., S. Stojanov, et al., "An InfoStation-Based University Campus System for the Provision of mLearning Services" в *IEEE-ICALT '06*, Kerkrade, The Netherlands, 2006.
- [20] Ganchev, I., S. Stojanov, et al., "Enhancement of DeLC for the Provision of Intelligent Mobile Services" в *2nd International IEEE Conference on Intelligent Systems (IS'2004)*, Varna, Bulgaria, 2004.
- [21] Ganchev, I., S. Stojanov, M. O'Droma, D. Meere, "InfoStation-based Adaptable Provision of m-Learning Services: Main Scenarios", *International Journal "Information Technologies and Knowledge" (IJ ITK)*, vol. 2, no. 5, pp. 475-482, 2008, ISSN 1313 -0455printed, - 048X_online, -0501_CD/DVD.
- [22] Ganchev, I., S. Stojanov, D. Meere и M. O'Droma, "InfoStation-based mLearning System Architectures: Some Development Aspects" в *The 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'08)*, Santander, Spain, 2008, pp. 504-505.
- [23] Ganchev, I., S. Stojanov, M. O'Droma и D. Meere, "An Infostation-Based Multi-Agent System for the Provision of Intelligent Mobile Services in a University Campus Area" в *3rd International IEEE "Intelligent Systems"*, University of Westminster London, UK, 2006, pp. 426-432.
- [24] Ganchev, I., S. Stojanov, M. O'Droma и D. Meere, "An InfoStation-Based University Campus System Supporting Intelligent Mobile Services", *Journal of Computers*, vol. 2, no. 3, pp. 21-33, 2007.
- [25] Ganchev, I., S. Stojanov, M. O'Droma и D. Meere, "Communications Scenarios for InfoStation-Based Adaptable Provision of mLearning Services" в *Second International Conference Modern (e-) Learning*, Varna, Bulgaria, ISSN 1313-0095 (paperback), ISSN 1313-1168 (CD), ISSN 1313-1214 (online), 1-7 July 2007, pp. 98-104.
- [26] Ganchev, I., S. Stojanov и M. O'Droma, "Consumer-oriented DeLC Service Architecture" в *In Proc. of the 3rd International Conference on Education and Information Systems, Technologies and Applications (EISTA 2005)*, Orlando, Florida, USA, ISBN 980-6560-34-5, 2005, pp. 213-218.
- [27] Ganchev, I., S. Stojanov, V. Valkanova и M. O'Droma, "Service-oriented and Agent-based Architecture Supporting Adaptable Context-Aware Provision of Mobile e-Learning Services" в *IADIS e-Learning 2010 Conference*, Freiburg, Germany, 26 - 29 July 2010, pp. 97-104.
- [28] Glushkova, T. и A. Stoyanova, "Interaction and adaptation to the specificity of the subject domains in the system for e-Learning and distance training DeLC" в *International*

Scientific Conference "Informatics in scientific knowledge", June 2008, Varna Free University "Chernorizets Hrabar".

- [29] Hadjiski, M., V.Sgurev and V.Bolshina, "Multi-Agent Intelligent Control of Centralized HVAC Systems" в *IFAC Workshop on Energy Saving Control in Plants and Buildings*, Bansko, Bulgaria, 2006.
- [30] Howden, N., Rnnquista, R., Hodgson, A., Lucas, A., "Jack intelligent agents™: Summary of an agent infrastructure" в *The Fifth International Conference on Autonomous Agents*, Montreal, Canada, 2001.
- [31] I. Ganchev, S. Stojanov, M. O'Droma, D. Meere, "An InfoStation-Based Multi-Agent System Supporting Intelligent Mobile Services Across a University Campus", *Journal of Computers*, vol. 2, no. 3, pp. 21-33, May 2007, ISSN: 1796-203X.
- [32] Iacono, A., C. Rose, "Bounds on file delivery delay in an infostations system" в *Vehicular Technology Conference (VTC'00)*, Tokyo, Japan, 2000.
- [33] Iacono, A., Rose, C., "InfoStations: A new perspective on wireless data networks", *Kluwer Academic Publishers*, 2001.
- [34] Kiss, C. , *Composite Capability/Preference Profiles (CC/PP): Structure and Vocabularies 2.0*. W3C, 2006.
- [35] Koestler, Arthur , *The Ghost in the Machine.*: Penguin Group, 1967 (1990 reprint ed.), ISBN 0-14-019192-5.
- [36] Korucu, A., Alkan, A., "Differences between m-learning (mobile learning) and e-learning, basic terminology and usage of m-learning in education", *Procedia Social and Behavioral Sciences*, no. 15, pp. 1925–1930, 2011.
- [37] Manola, F. and E. Miller, *RDF Primer (W3C Recommendation)*. B. McBride, W3C, 2004.
- [38] Nunes, I., Nunes, C., Kulesza, U., Lucena, C., "Agent-oriented software engineering" in *Developing and Evolving a Multi-agent System Product Line: An Exploratory Study*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, ch. ix, pp. 228-242.
- [39] Nunes, O. , *BDI4JADE*. <<http://www.inf.ufrgs.br/prosoft/bdi4jade/>>
- [40] Nunes, I., Cirilo, E., Lucena, C., "Developing a family of software agents with fine-grained variability: an exploratory study" в *SEAS 2009*, 2009, pp. 71-82.
- [41] Nunes, I., Kulesza, U., Nunes, C., Cirilo, E., Lucena, C., "Extending web-based applications to incorporate autonomous behavior" в *The 14th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web (WebMedia'08)*, 2008, pp. 115-122.
- [42] Nunes, I., Barbosa, S., Lucena, C., "Increasing users' trust on personal assistance software using a domain-neutral high-level user model", *ISO LA 2010*, vol. 6415, pp. 473-487, 2010.
- [43] OMG MDA, *MDA® Specifications.*, 2014. <<http://www.omg.org/mda/specs.htm>>

- [44] Oracle, *Java 2 Micro Edition*.
<<http://www.oracle.com/technetwork/java/embedded/javame/index.html>>
- [45] Oracle, *Java Standard Edition*.
<<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/index.html>>
- [46] Ozdamlia, F., Cavus, N., "Basic elements and characteristics of mobile learning", *Social and Behavioral Sciences*, no. 28, pp. 937 – 942, 2011.
- [47] Pokahr, A., Braubach, L., *Jadex user guide*. Hamburg, Alemanha: University of Hamburg, 2007.
- [48] Rahneva, O. , A. Rahnev и N. Pavlov, "Functional Workflow and Electronic Services In a Distributed Electronic Testing Cluster – DeTC" в *Proceedings 2nd International Workshop on eServices and eLearning*, Otto-von-Guericke Universitaet Magdeburd, ISBN 3-929757-76-1 , 2004, pp. 147-157.
- [49] Rahnev, A. , N. Pavlov и O. Rahneva, "Architecture & Design of Distributed Electronic Testing Cluster (DeTC) based on Microsoft.NET Framework" в *IMAPS CS International Conference*, Brno, Czech Republic, ISBN 80-214-2990-9 , 2005, pp. 417-422.
- [50] Rahnev, A. и O. Rahneva, "Algorithms for Generation of Circuitries and Drafts in Distributed e-Testing Cluster (DeTC)", *Scientific Works*, vol. 35, no. Book 3, 2007 – Mathematics, pp. 85-100, 2007, ISSN 0204–5249.
- [51] Rao, A. , "Agentspeak(I): Bdi agents speak out in a logical computable language" в *MAAMAW '96*, 1996, pp. 42-55.
- [52] Rao, A., Georgeff, M., "BDI-agents: from theory to practice" в *Proceedings of the First Intl. Conference on Multiagent Systems*, San Francisco, 1995.
- [53] Russell, S., and P.Norvig, *Artificial Intelligence – A Modern Approach*, 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- [54] Small, T., Haas, Z., "The shared wireless infostation model: a new ad hoc networking paradigm (or where there is a whale, there is a way)" в *The 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing (MobiHoc'03)*, Annapolis, Maryland, USA, 2003.
- [55] Stoyanov, S. , "Context-Aware and Adaptable eLearning Systems", STRL, De Montfort University, Leicester, UK, PhD Thesis 2012.
- [56] Stoyanov, S., I. Ganchev, M. O'Droma, D. Mitev, I. Minov, "Multi-Agent Architecture for Context-Aware mLearning Provision via InfoStations" в *The 5th InternationalConference on Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology*, Paris, France, ACM 978-1-60558-046-3/08/0003 , 28-31 October 2008, pp. 549-552.
- [57] Stoyanov, S.; Ganchev, I.; O'Droma, M.; Zedan, H.; Meere, D.; Valkanova, V., "Semantic Multi-Agent mLearning System" in *Semantic Agent Systems: Foundations and*

- Applications*, A. Elci, M. T. Kone, and M. A. Orgun, Eds.: Springer Verlag, 2011, vol. 344, ISBN: 978-3-642-18307-2.
- [58] Stoyanova-Doycheva, A. , "A Software Refactoring Process and the Supported Tools" в *Fourth International Conference for Informatics and Information Technology*, Bitola, Macedonia, 11-14 Dec 2003, pp. 70-77, ISBN 9989-668-45-0.
- [59] Stoyanova-Doycheva, A. , "Development of Refactoring Learning Environment" в *Research and Education in Mathematics, Informatics and their Applications*, Plovdiv, Bulgaria, December 2010.
- [60] Stoyanova, A. и Т. Glushkova, "Model for implementation of interactive distance learning" в *International Scientific Conference "Informatics in scientific knowledge"*, Varna, June 2010, Varna Free University "Chernorizets Hrabar".
- [61] Stoyanov, S. , G. Cholakov, V. Valkanova и М. Sandalski, "Personalized, Reactive and Proactive Providing of e-Learning Services" в *EdiLib Conference , AACE E-Learn 2011 – World Conference on E-Learning in Corporate, Government*, Honolulu, Hawaii, USA, 17-21 October, 2011.
- [62] Stoyanov, S. , I. Ganchev, I. Popchev, M. O'Droma и V. Valkanova, "Agent-Oriented Middleware for InfoStation-based mLearning Intelligent Systems" в *5th IEEE International Conference on Intelligent Systems IS'10*, London, IEEE Catalog Number: CFP10802-CDR, ISBN:978-1-4244-5164-7, Library of Congress:2009934065 , 07.07 – 09.07.2010, pp. 91-95.
- [63] Stoyanov, S. , I. Ganchev, D. Mitev, V. Valkanov и М. O'Droma, "Service-oriented and Agent-based Architecture Supporting Adaptable, Scenario-based and Context-aware Provision of Mobile e-Learning Services", *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, vol. 3, pp. 771-779, 2011, ISSN 2150-7988.
- [64] Stoyanov, S. , I. Ganchev, I. Popchev и М. O'Droma, "An Approach for the Development of a Context-Aware and Adaptive eLearning Middleware" in *Intelligent Systems: From Theory to Practice*, V. Sgurev et al., Ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010, pp. 519-535, ISBN: 978-3-642-13427-2.
- [65] Stoyanov, S. , I. Ganchev, I. Popchev и М. O'Droma, "An Approach for the Development of InfoStation-Based eLearning Architectures", vol. 61, no. 9, pp. 1189-1198, 2008.
- [66] Stoyanov, S. , I. Ganchev, I. Popchev, M. O'Droma и R. Venkov, "DeLC – Distributed eLearning Center" в *1st Balkan Conference in Informatics BCI'2003*, Thessaloniki, Greece, ISBN 960-287-045-1 , 2003, pp. 327-336.
- [67] Stoyanov, S. и I. Popchev, "Evolutionary Development of an Infrastructure Supporting the Transition from CBT to e-Learning", *Cybernetics and Information Technologies (CIT)*, vol. 2, pp. 101-114, 2006, Bulgarian Academy of Sciences.

- [68] Stoyanov, S. , A. Stoyanova-Doyheva и M. Chigrichenko, "Improving the creativity in software engineering education with Refactoring Learning Environment" в *Second International Conference Creativity and Innovation in Software engineering*, Ravda, Bulgaria, June 2009.
- [69] Stoyanov, S. , V. Valkanova, G. Cholakov и M. Sandalski, "Education Portal for Reactive and Proactive Service Provision" в *The Third International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications (COGNITIVE 2011)*, Rome, Italy, September 25-30, 2011.
- [70] Telecom Italia, JADE. <<http://jade.tilab.com>>
- [71] UNESCO, *UNESCO Mobile Learning Publications*. <<http://www.unesco.org/new/en/unesco/themes/icts/m4ed/mobile-learning-resources/unescobilelearningseries/>>
- [72] World Wide Web Consortium. <<http://www.w3.org/>>, последно посещение 02.2017
- [73] Zedan, H. и др., "Mapping Human Creativity" in *STRL Internal Monograph (STRL-2008-09)*. Leicester, UK: De Montfort University, 2008.
- [74] Вълканова, В. , С. Стоянов, Х. Зедан и И. Попчев, "Модел за изследване на креативното мислене и действие на ученици" в *39-та пролетна конференция на СМБ*, Албена, 2-6 Април, 2010, pp. 274-280.
- [75] Ганчева, Лилия , "Мултиагентна обучаваща среда за инженерни кадри", *СІО*, Октомври 2011. <http://cio.bg/4114_multiagentna_obuchavashta_sreda_za_inzhenerni_kadri>
- [76] Глушкова, Т. , "Адаптивна среда за електронно обучение в средните училища", ФМИ на ПУ "П. Хилендарски", Дисертационен труд 2011.
- [77] Дойчев, Емил , "Среда за електронни образователни услуги", Пловдивски университет "Паисий Хилендарски", Пловдив, Дисертационен труд 2013.
- [78] Имамутдинов, И. , "Организация мислящия роя", *Експерт*, vol. 48, no. 925, 2014.
- [79] Рахнева, О. , "Разпределен кълъстер за електронно тестване", Пловдивски университет, дисертационен труд 2006.
- [80] Стоянова-Дойчева, А. , "Автоматизирано средство за навигация на процеси за refactoring" в *Национална научна конференция "Информатиката в научното познание"*, юни 2004, Варненски Свободен Университет "Черноризец Храбър".
- [81] Стоянова-Дойчева, А. , "Дефиниране на процес и средства за рефакторинг в обучението по софтуерни технологии", Пловдивски университет, дисертационен труд 2011.