

Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“
Факултет по математика и информатика
Катедра „Компютърни системи“

Георги Николов Чолаков

Хибридна архитектура за изграждане на Разпределен център за електронно обучение (DeLC)

АВТОРЕФЕРАТ

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

Научни ръководители: 1. Проф. д-р Станимир Стоянов
2. Доц. д.т.н. Красимира Стоилова

Рецензенти: 1. Акад. проф. д.т.н. Иван Попчев
2. Доц. д-р Олга Рахнева

Пловдив
2013 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на катедра „Компютърни системи“ при Факултета по математика и информатика на ПУ „Паисий Хилендарски“.

Дисертационният труд „Хибридна архитектура за изграждане на Разпределен център за електронно обучение (DeLC)“ съдържа 131 страници. Библиографията включва 126 източника. Броят на авторските публикации е 4.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 02.08.2013 г. от 13:00 в заседателната зала на Факултета по математика и информатика на ПУ „Паисий Хилендарски“, гр. Пловдив.

Материалите по защитата са на разположение за интересувалите се в секретариата на ФМИ, нова сграда на ПУ, каб. 330 всеки работен ден от 8:30 до 17:00 часа.

Автор: Георги Николов Чолаков

Заглавие: Хибридна архитектура за изграждане на Разпределен център за електронно обучение (DeLC)

Тираж: 100 бр.

Пловдив, 2013 г.

Съдържание

| | |
|---|----|
| Обща характеристика | 4 |
| Цели и задачи на дисертационния труд..... | 6 |
| Структура и обем на дисертационния труд..... | 6 |
| Кратко съдържание на дисертационния труд | 7 |
| 1. Текущо състояние в областта | 7 |
| 2. Образователен клъстер IntelliDeLC | 9 |
| 2.1. Обща архитектура на образователния портал..... | 10 |
| 2.2. Подход..... | 10 |
| 2.3. Интерфейс между портала и Agent Village | 11 |
| 2.4. Agent Village..... | 14 |
| 3. Резултати от апробацията на системата | 22 |
| 3.1. Резултати от работата на агент Evaluator..... | 22 |
| 3.2. Резултати от работата на агент FraudDetector | 24 |
| Перспективи | 29 |
| Авторска справка | 29 |
| Публикации по дисертационния труд | 30 |

Обща характеристика

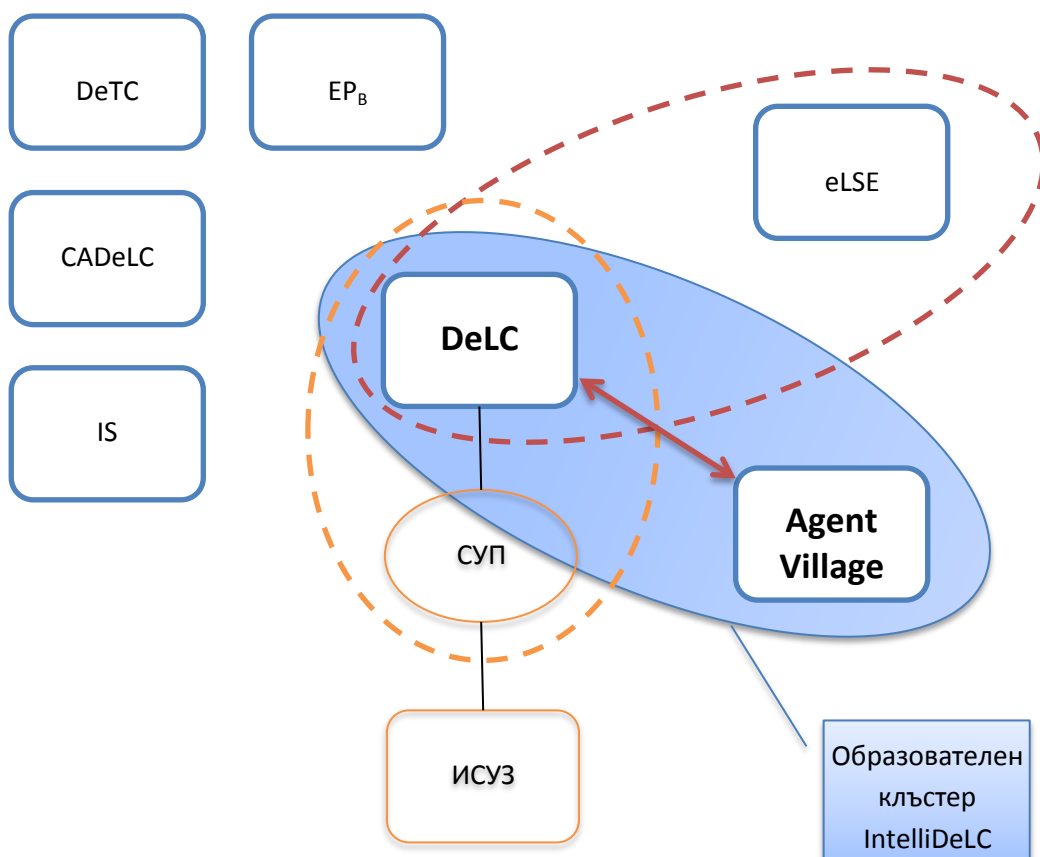
С все по-широкото навлизане на компютърно-базираното обучение [1] в сферата на образованието се наблюдава една нарастваща тенденция, свързана се интелигентното доставяне на електронни образователни услуги и учебно съдържание. Това все по-често се реализира чрез внедряване на интелигентни помощници в системите за обучение, допринасящи за все по-интелигентното поведение на тези системи. Приложението им може да бъде открито в почти всички фази на процеса на обучение – от стила на предлагане на информацията в процеса на обучение, подбора на подходящи материали и степен на сложност по индивидуални за всеки обучаван критерии, индивидуалната помощ при справяне със самостоятелната работа, до провеждането на изпит и оценяване на обучаваните. Видовете използвани интелигентни помощници биват най-разнообразни – персонални, обслужващи индивидуални обучавачи се и формиращи техните профили; групови – обслужващи групи от обучавачи се в общ курс или с общи материали; общи – обслужващи всички обучавачи се, без да съхраняват индивидуални профили за всеки обучавач се. Тази вариативност се обуславя основно от областта на приложение и бизнес логиката на всеки конкретен интелигентен асистент.

В отговор на съвременните изисквания и тенденции за подпомагане на обучението чрез използване на най-новите информационни и комуникационни технологии, във Факултета по математика и информатика на Пловдивския университет се разработва инфраструктура, наречена Разпределен център за електронно обучение (DeLC). Този център е предназначен да доставя по един контекстно-зависим, адаптивен и персонализиран начин електронни образователни услуги и електронно учебно съдържание, разположени върху сървъри, които физически могат да бъдат разделени. По своето концептуално естество DeLC представлява динамична мрежова структура, която се състои от следните елементи [1,2,3,4]:

- **Възли** – върху възлите могат да бъдат разполагани електронни образователни услуги и хранилища за електронно съдържание;
- **Релации** – релациите специфицират определени зависимости и взаимоотношения между възлите.

Спрямо своето предназначение възлите могат да бъдат от различен тип:

- **Образователни възли** – те предоставят електронни образователни услуги и електронно учебно съдържание посредством подходящ потребителски интерфейс;
- **Помощни възли** – те биват прозрачни за потребителя, задачата на които е да подпомагат функционирането на образователните възли;
- **Специализирани възли** – те предоставят специфични услуги за потребители със специален статус.



Фигура 1. Концептуален модел на клъстера IntelliDeLC.

Както е демонстрирано на горната фигура, някои от възлите могат да бъдат изолирани. Показаните възли са предмет на различни изследвания и разработки и са представени в различни публикации и трудове: Information Stations (IS) в [5], DeLC в [6,7], DeLC Test Center (DeTC) [8,9,10], Education Portal for Secondary School in Brezovo (EP_B) в [11], eLSE в [12], CADeLC (Creativity Assitant) в [13]. Работата на настоящата

дисертацията е основно по обособения на Фигура 1 образователен клъстер, наречен IntelliDeLC.

Цели и задачи на дисертационния труд

Основната цел на дисертационния труд е разработване на образователен клъстер (наречен IntelliDeLC) с хибридна архитектура в съответствие с концепцията на DeLC, осигуряващ интелигентна доставка на електронни услуги и електронно учебно съдържание. Клъстерът да се изгради като разширение на съществуващия образователен портал DeLC със сървисно-ориентирана многослойна архитектура.

В съответствие с целта са дефинирани три задачи на дисертацията:

1. Разработване и реализиране на архитектурата на образователен клъстер IntelliDeLC;
2. Разработване на конкретни интелигентни асистенти, подпомагащи работата на клъстера;
3. Тестване и апробация на реализирания прототип на клъстера в реален обучителен процес.

Структура и обем на дисертационния труд

Работата се състои от увод, три глави и заключение. Приложена е библиография, съдържаща използваните литературни източници.

В първа глава са цитирани дефиниции на интелигентни агенти и техни свойства. Направен е и преглед на подобни съществуващи към момента системи, както и на такива в проект, но все още без реализации. За всяка от тях е направено кратко сравнение със системата, предмет на дисертацията, като са споменати основните прилики и различия.

Във втора глава е описан образователния клъстер IntelliDeLC, показана е неговата обща архитектура [14]. Описани са възможните подходи за разширяване на архитектурата, кой е избран от тях и аргументите за направения избор. Представено е описание на интерфейса между портала DeLC и Agent Village с неговата функционалност и възможности, които предоставя. Описан е модулът AVCallProcessor,

вграден в портала DeLC, правещ възможна интеграцията на интерфейса в портала. Разгледани са интелигентните асистенти с техните предназначения и функционалности. Представени са и използваните алгоритми, реализиращи някои от функциите на агентите.

В трета глава е описана апробацията на системата. Представен е използваният подход и стъпките от неговото приложение. Описани са предвидените за реализация интелигентни асистенти. Демонстрирани са резултатите от тестването на системата с данни от изпити в различни дисциплини с диаграми. Обобщени са на резултатите от работата на агентите Evaluator и FraudDetector в реална среда за два различни периода от време на тяхната експлоатация.

В заключението е направено обобщение на целите и задачите на дисертацията, както и получените резултати при разработване и пускане на системата в реална експлоатация.

Кратко съдържание на дисертационния труд

1. Текущо състояние в областта

Добавянето на интелигентно поведение в софтуерните системи е цел, чието преследване се наблюдава почти във всички области на приложение на тези системи. Колкото по-интелигентни биват софтуерните компоненти, толкова по-рядко би трябвало да се налага човешката намеса в процесите на тяхната работа, и съответно да се намали шанса за човешка грешка в изчисленията.

Създаването на системи, съставени от интелигентни софтуерни компоненти (софтуерни агенти) е комплексна задача. Това се доказва от множеството концепции за такива системи и малкото (в сравнение с концепциите) реализации. В системите за обучение, софтуерни агенти могат да бъдат и са използвани в много различни направления. В системите, свързани с обучение, често се достига до необходимост от разработване на интелигентни агенти, когато се налага въвеждане на дистанционно такова. В такива системи ролята на обучаващ преподавател, оценяващ, а и в някои случаи на обучаван може частично или понякога изцяло да бъде изиграна от софтуерен

агент. Това би облекчило ангажиментите на преподавателския състав и от друга страна би добавило възможността обучаваният да се възползва от обучаващия агент в удобно за него време поради факта, че софтуерът обикновено може да работи и извън работното време, в което са достъпни човешките преподавателски ресурси.

Най-съществените разлики между нашата система и разгледаните подобни такива могат да бъдат обобщени в следната таблица:

| | Agent Village (DeLC) | Други системи |
|-------------------------------------|--|--|
| Предназначение на агентите | За общи системни цели, не са персонални, работят прозрачно за потребителите. Предназначени за автоматизиране на дейностите на преподавателския състав. | Използват предимно персонални агенти, които често явно се използват от потребителите. Предназначени за подпомагане на обучаващите се. |
| Функционалност на агентите | <ul style="list-style-type: none"> • За автоматизирана проверка на отговори в свободен текст (Evaluator); • За разпознаване на опити за измами по време на тестове (FraudDetector); • За извличане на статистическа информация и използването ѝ за промяна на поведението на агентите (Statistician). | <ul style="list-style-type: none"> • За автоматизирана проверка на структуриран текст – програмен код на различни езици за програмиране; • За поддържане на индивидуален профил на всеки обучаван; • За периодично уведомяване на потребителя за настъпили събития. |
| Поведение на агентите | Реактивно, проактивно. | Предимно реактивно. |
| Архитектура | Независима от основната (извън портала DeLC). | Предимно вградени в системата, която ги използва. |
| Комуникация с външни системи | Налична чрез web услуги. | Не е описана такава в публикациите. |

От много от разгледаните документи и прегледа на множество статии, свързани с някой или и с двата въпроса за мулти-агентните системи в обучението и автоматичното оценяване става ясно, че създаването на такава система не е съвсем проста задача. За това свидетелстват и множеството статии в света, в които има само предложения на

архитектури, функционалност на мулти-агентни системи и други изследвания в тази насока, но липсват реализации на описаните предложения или изследвания. Това доказва високата степен на трудност на създаване на такава система, но с това предизвикателствата далеч не приключват. Когато системата вече е създадена тя трябва да бъде тествана в реални условия и евентуално настроена – това бе част от жизнения цикъл и на системата Agent Village, от апробацията на която има представени данни за различни версии. Често някои интелигентни агенти се нуждаят от обучение преди да могат да бъдат полезни – в Agent Village такива агенти са Evaluator и FraudDetector. Тяхното усъвършенстване продължава и в момента. В заключение може да се каже, че след като искаме интелигентните агенти да имат сходно на човек поведение, то те трябва да се поддържат „живи“ и да бъдат постоянно усъвършенствани, както това се случва в естествената еволюция на човека.

2. Образователен клъстер IntelliDeLC

Основна цел на дисертацията е реализация на образователния клъстер IntelliDeLC, който се състои от следните компоненти:

1. Agent Village;
2. Образователния портал DeLC;
3. Интерфейс.

Agent Village представлява е нов възел, който предоставя агентна среда, в която работят интелигентните агенти. Разработването на този компонент представлява основната работа, извършена за реализация на поставените в дисертацията цели.

Образователният портал DeLC е модифициран като му е добавен модул (AVCallProcessor) за вграждане на интерфейса и правещ възможно използването на интелигентните агенти от Agent Village посредством разработения специално за целта интерфейс.

Интерфейсът осъществява комуникацията между изброените вече компоненти: портала DeLC и Agent Village.

В тази глава подробно ще бъдат представени интерфейсът и Agent Village.

2.1. Обща архитектура на образователния портал

Един от възлите на DeLC е образователен портал, предназначен за обучение на студенти, но също може да бъде адаптиран и за обучение на ученици в средното образование. Архитектурата на образователния портал е сървисно-ориентирана и многослойна. Тя трябва да бъде разширена с добавянето на агентно-ориентиран възел, наречен Agent Village.

2.2. Подход

Разширяването на съществуващата архитектура цели добавяне на интелигентно поведение на услугите, предоставяни от портала. Интелигентността се изразява в добавяне на компоненти с проактивно поведение. Проактивност означава софтуерът да може да оперира „от името на потребителя“ и да се „самоактивира“, когато „прецени“, че е необходима неговата намеса. Това разширение би насочило центъра за обучение на портала към агентно-ориентирана архитектура за разпределено обучение.

Налице са следните два подхода за разширение:

1. Директно интегриране на интелигентни компоненти в сегашната архитектура на портала. По този начин разширяваме съществуващия образователен DeLC възел.
2. Изграждане на нов помощен възел, който ще оперира взаимодействайки с образователния DeLC възел (образователния портал).

В съответствие с концепциите на портала DeLC, предимствата и недостатъците на двата подхода и някои технологични причини е избран втория подход. Така интелигентните компоненти (агенти), наречени „асистенти“, ще „населяват“ новоизградения агентно-ориентиран възел.

Това означава създаване на образователен клъстер (IntelliDeLC) в портала DeLC. Клъстерът ще включва следните компоненти:

- 1) Образователен портал;

- 2) Агентно-ориентиран възел, наречен Agent Village (AV);
- 3) Интерфейс между горните възли.

Следните стъпки трябва да бъдат направени, за да се постигне реализацията на желаното разширение:

- 1) Изграждане на Agent Village;
- 2) Реализация на интерфейса за комуникация между портала и AV;
- 3) Интегриране на този интерфейс в портала.

Връзката между образователния възел (образователния портал) и помощния възел, наречен Agent Village (AV), се осъществява през средния слой на порталната архитектура, където са разположени електронните услуги. В зависимост от посоката на търсената помощ се различава реактивно и проактивно поведение на архитектурата.

2.3. Интерфейс между портала и Agent Village

Интерфейсът между портала DeLC и агентната среда Agent Village предоставя механизъм за взаимната им комуникация. Той прави тази комуникация прозрачна за двете страни, като в същото време осигурява различни видове поведение на агентите от AV. Негова задача е транспортирането на съобщенията от едната към другата страна, поемайки отговорността за трансформиране на тези съобщения преди и изпращането и след получаването им във всяка от страните.

Интерфейсът осигурява два типа поведение:

1. Реактивно поведение - взаимодействието между двата възела се инициира от портала. Това е необходимо в случаите, когато при изпълнение на потребителска заявка една услуга се нуждае от „експертна” помощ. Услугата се обръща към кореспондиращ агент, разположен в AV. Проблемът е, че по своята природа услугите са пасивни и статични софтуерни модули, предназначени предимно за удобно реализиране и интегриране на бизнес-функционалност. По тази причина те трябва да „прехвърлят” отговорността за активиране и поддържане на връзката към активен компонент от архитектурата, каквито са агентите. Това става като услугата изпраща в околната среда на агента определено съобщение, който от своя страна отчита промяната в средата и

реагира, като интерпретира съобщението. В зависимост от идентифицираната необходимост от помощ, агентът активира необходимите действия.

2. Проактивно поведение - даден агент от AV може да установи, че в неговата околна среда се случва „нещо“, което би било интересно за потребителя, който той асистира. Агентът се активира и може да извърши определени действия за удовлетворяване предпочитанията (желанията) на потребителя.

2.3.1. Роля на околната среда на AV

В една класическа мулти-агентна система средата на агентите е пасивна, като нейната роля е да съхранява глобални информационни ресурси, необходими за оперирането на агентите и да бъде медиум за комуникацията между тях.

В дисертацията се предлага промяна на класическата роля на околната среда в една мулти-агентна система. В интерфейса средата има активна роля, което се изразява в следното:

1. При реактивното поведение средата се маскира като услуга, за да бъде осъществена комуникацията и предаването на параметрите. Когато бъде получена заявка към тази услуга се изпълняват следните стъпки:
 - Средата получава множество параметри от заявката;
 - Трансформира тези параметри до ACL съобщение, разбираемо от агентите;
 - Маршрутизира това съобщение към агентите, отговорни за обработката на търсената функционалност;
 - След приключване работата на агента средата прихваща ACL съобщението, върнато от него, и го трансформира в отговор, имащ подходящ вид с оглед на получената заявка;
 - Средата връща трансформирания отговор към извикващата страна.
2. При проактивното поведение в средата има налице промяна на определени условия, които биват разпознати от агентите като промяна в средата и карат последните да се активират и предприемат определени действия, които могат да бъдат обобщени в следните:

- Настъпва промяна в средата;
- Агентите се активират и предприемат определени действия. В резултат на тези действия те могат да обменят ACL съобщения помежду си в средата или към външния свят, отново чрез средата;
- Ако има обмен на съобщения средата маршрутизира съобщенията към агентите, за които са предназначени;
- Ако има ACL съобщение, което трябва да бъде изпратено към външна система средата прихваща ACL съобщението и го трансформира във вид, подходящ за изпращане към външната система.

2.3.2. Агентна среда

Агентната среда представлява софтуерната платформа, където са разгърнати софтуерните агенти от Agent Village. Тъй като разработването на собствена такава не представлява интерес, а и би бил тежък, отговорен и дълъг процес, който би породил и нужда от поддръжка, отстраняване на грешки и развиване и усъвършенстване, за такава бе избрана вече съществуваща и доказала във времето своите качества и надеждност платформа.

При избора на среда и език за разработка на агентите бяха разгледани множество такива, сред които Jason, tinyMAS, Janus Project и MaDKit, като за реализация на Agent Village е избрана средата JADE (Java Agent Development Framework) поради множество аргументи, както идеологически, така и чисто технически, включващи някои от следните:

- Разработена е изцяло на Java, което съвпада с платформата на портала DeLC, въпреки че засега системите AV и DeLC са напълно независими платформено една от друга и не е нужно да бъдат реализирани със сходни програмни средства;
- Улеснява разработването на мулти-агентни системи чрез междинен слой, който е съвместим със спецификациите на FIPA;
- Предоставя средства за улеснение на отстраняването на грешки (debugging) и фазата на пускане в експлоатация (deployment);

- Агентната платформа може да работи в разпределена среда, включваща множество машини с различни (евентуално) операционни системи;
- Конфигурирането им може да бъде правено отдалечено чрез потребителски интерфейс дори по време на системата работа в реално време чрез преместване на агенти от една машина на друга. Тази опция за момента не се използва от AV, но би била полезна при развитието на системата;
- Предоставя прозрачен механизъм за комуникация между агенти чрез ACL съобщения;
- Дава възможност за откриване на функционалността на агентите за външния свят, маскирайки ги като web услуги. При този подход преобразуването на извикванията от SOAP Request към подходящо ACL съобщение, маршрутизирането му до правилния агент, връщането на резултатно ACL съобщение от агента и обратното преобразуване до SOAP Response става автоматично, освобождавайки разработването на агентите от необходимостта и отговорността за механизма на комуникация;
- Платформата е с отворен код и лиценз LGP (Lesser General Public License Version 2);
- Не на последно място – поддържа се от сериозни компании, което гарантира нейното развитие в бъдеще, съответно и развитието на агентните системи, базирани на нея, може да бъде улеснено. Компанията собственик е Telecom Italia, а в борда участват още Motorola, Whitestein Technologies AG, Profactor GmbH и France Telecom R&D.

2.4. Agent Village

Agent Village се състои от следните два компонента:

- Интелигентни агенти;
- Средата, в която те оперират.

Т.е. множеството агенти, които са създадени в средата, реализираща разширението на архитектурата на портала, формират Agent Village. Това е изцяло новият компонент в архитектурата на образователния клъстер IntelliDeLC. Тези агенти

представяват интелигентни асистенти, имащи различни функции и създадени, за да обслужват различни нужди, както на потребителите, така и системни. Проектирани са три асистента, от които само Statistician не е реализиран.

2.4.1. Агент Evaluator

Този агент се използва за автоматично оценяване на въпроси, чиито отговори представляват свободен текст, в който се търсят думи и изрази, предварително дефинирани за всеки въпрос.

Представяне на проблема

При проверка на тестове се оказва, че въпросите от „отворен тип“ най-често отнемат по-голямата част от времето и усилията на проверяващите, защото трябва да бъдат прочетени от тях, за разлика от въпросите с избор на верен отговор, например, които могат да бъдат проверени автоматично от почти всяка не чак дотам сложна система, предоставяща функционалност за създаване и проверка на тестове. За улеснение при проверката на такива въпроси може да бъде използван агентът Evaluator.

Предназначение (функционалност) на агента

Предназначението на този агент е да изчисли точки за въпрос, получавайки като параметри отговора на въпроса, даден от изпитвания, ключовите думи и изрази (синоними) за въпроса, и максималния брой точки.

Целта при неговото разработване беше да се реализира вътрешната структура на агент, подпомагащ преподавателя при оценяване на отворени въпроси. Във функционалността на този агент са заложили два прости алгоритъма за изчисление на точките. Тези алгоритми са реализирани с използване на стандартни такива (soundex, metaphone), като са пригодени за решаване на задачите, свързани с функционалностите на този агент. Работата по тяхното усъвършенстване е независима от развитието на портала и агентната среда, защото те са реализирани в отделен модул, който агентът за оценяването използва. В текущата версия на системата като отговор от изчисленията се връщат точките само от един алгоритъм, но резултатите и от двата алгоритъма се съхраняват в база от данни. От съхранените до момента данни е

направена статистика и е избран конкретния алгоритъм като най-реалистичен, т.е. даващ най-близки резултати с оценяващия преподавател. Идеята ни е в следваща версия на този агент да се представят резултатите от няколко алгоритъма на оценяващия и той да има възможност да избере резултат от кой алгоритъм да използва за крайна оценка. Така за всеки оценяващ преподавател агентът, отговарящ за статистиката, ще може да прецени кой е най-близкият до неговото оценяване алгоритъм и ще предлага на агента Evaluator като първи резултат (приоритетен) получения от предпочитания от преподавателя такъв.

Поведение на агента

Този агент има поведение, което изчислява точките за конкретния отговор на въпрос. Агентът има обвивка, която за външния свят е във вид на web услуга. По този начин той става достъпен за портала, който при необходимост се възползва от операцията *estimate* от web услугата, приемаща следните аргументи:

- Идентификатор на отговора;
- Отговор, даден от студента;
- Ключови думи за този въпрос, въведени от създателя на теста;
- Максимален брой точки, които могат да бъдат дадени за отговора.

Като резултат извикването на тази операция от web услугата връща изчисления брой точки. Тези точки биват представени от портала на оценяващия като предложения за оценка (брой точки), която да бъде поставена за конкретния отговор.

По-подробно, поведението на този агент включва циклична проверка за пристигнали за него съобщения, които са в резултат от получаването на SOAP Request съобщение. При наличие на такова съобщение се проявява проактивното му поведение, функционалността на което преценя какво действие трябва да бъде предприето.

Околна среда на агента

В текущата реализация на AV околната среда служи за трансформиране на идващи от външни системи заявки към агента до ACL съобщения, да ги транспортира до него, след което да получи генерираното от него като отговор ACL съобщение, да го

трансформира във вид, отговарящ на заявката от външната система, и да го изпрати към нея.

На следващ етап в околната среда за този агент е предвидено да се съхраняват речници с използваните до момента ключови думи, изрази и техни синоними, формирайки по този начин локална база знания. Това би довело до евентуално опростяване на заявката към агента и до по-прецизно оценяване, използвайки търсене освен на получените като параметър ключови думи и такива от собствената база знания.

2.4.2. Агент FraudDetector

Този агент (в текущата си версия) има за цел да проверява съобщенията в chat-системата на портала и да ги оценява доколко са свързани с учебния материал.

Представяне на проблема

Поради честото срещане на опити за преписване и подсказване между студентите по време на изпит в портала DeLC се наложи търсенето на автоматизирани средства за контрол на опитите за измама. Най-често срещаните видове измама са преписване от Интернет източници – резултати от машини за търсене като Google, Bing, Yahoo! и други, информационни сайтове от рода на Wikipedia и други подобни. Друг лесен за осъществяване и често използван начин за измама е комуникация между студентите чрез вградената в портала chat-система.

Предназначение (функционалност) на агента

Ролята на този агент е чрез своите поведения той да разпознава някои от най-характерните и често срещани видове измама по време на изпит. Такива видове са:

- Copy/paste на резултати от Интернет машини за търсене;
- Обмяна на информация с колеги чрез приложения за комуникация (chat системи) и др.

Той ще се кооперира с агента Evaluator и ако рецепторите му отчетат вероятност за опит за измама ще информира Evaluator, който от своя страна ще информира оценяващият преподавател, че е нужно обръщане на по-специално внимание на

конкретни отговори от изпитваните студенти, защото спадат към подозрителните такива.

Поведение на агента

Основно поведение на този агент е да проверява и „подслушва“ chat системата на портала. Той следи периодично за промяна в околната среда (на конфигурируем интервал от време) - за стартирани изпити в портала. Проявата на проактивното му поведение идва при наличие на такива - за всеки стартирал изпит той следи съобщенията за конкретната дисциплина на изпита, разменяни между участниците. Ако подозрителни съобщения бъдат разпознати те ще бъдат записвани с цел по-нататъшен анализ на информацията.

Този агент стартира с две поведения:

1. Зареждане на базата знания – това поведение има за цел да „обучи“ агента, за да може да разпознава „подозрителните“ съобщения. Характерно за него е също, че периодично тези знания се допълват, защото информацията, свързана с въпросите и техните отговори е динамична и се променя във времето. По този начин базата знания се поддържа актуална, обновявайки се периодично;
2. Периодична проверка на непроверените (новите) съобщения от chat системата на портала.

Функционалността на агента, реализираща проверката на съобщенията от chat системата, е реализирана в отделен модул, наречен ChatListener. По този начин алгоритмите за разпознаване на подозрителни съобщения могат да бъдат променяни без това да налага промяна на самия агент. Като негови задължения относно това поведение остават следните задачи:

- Извличане на непроверените chat съобщения от базата данни;
- Извличане на база от знания, чрез която агентът се самообучава и добива способност да разпознава съобщенията, които имат отношение към материал, включен в тестовете.

За да изпълнява агентът тази своя функция трябва са изпълнени следните две условия:

- ✓ Условие 1: Да има достъп до базата данни на chat системата;
- ✓ Условие 2: Да има достъп до базата данни на портала в частта ѝ, която съхранява тестовете за конкретните дисциплини.

Представяме пояснения относно нуждата от тези две условия:

- Тъй като chat системата на портала е реализирана така, че записва съобщенията в реляционни таблици в собствена база от данни, се налага агента да има достъп до тази база от данни и съответните таблици – от тях се извличат резултатни набори от съобщения, групирани във времеви интервали. Целта на това времево разделение на съобщенията е да не се проверяват съобщения, вече проверени веднъж, т.е. агентът да проверява само новите непроверени съобщения – това е важно от гледна точка на ефективността на неговото изпълнение, което е в реално време! (Условие 1);
- Интересна част в поведението на агента, свързано с подслушването на chat системата, е, че той трябва да може да се самообучава по конкретните дисциплини, за които проверява. Това се налага от факта, че за да открие евентуалните подозрителни съобщения, които биха били разменяни между студентите, той самият трябва да може да ги разпознае като съмнителни такива. Това става като агентът набере множество от знания, които идват от базата данни на портала, съхраняваща тестовете. Знанията на агента имат два аспекта:
 - Знания за самите въпроси – агентът ще подслушва за обмен на въпроси в съобщенията;
 - Знания за отговорите на въпросите – агентът ще подслушва за обмен и на отговори в съобщенията.

И за двата аспекта данните се съхраняват в посочената по-горе база от данни, затова е нужен достъп до нея (Условие 2).

И така, преди да бъде стартиран процесът за проверката на съобщенията от chat системата, агентът трябва да бъде обучен по съответната дисциплина. Това става с извличането на всички въпроси и техните отговори или ключови думи и изрази - в зависимост от типа на въпросите: с избор на верен отговор; въвеждане на свободен текст за отговор и др. Списъкът от всички тези въпроси с техните отговори представлява

базата знания на агента, която той ще използва, за да разпознае съобщенията, които са свързани с материала за изпита.

Околна среда на агента

Околната среда, освен обичайните задачи, свързани с трансформиране на идващи от външни системи заявки към агента до ACL съобщения, да ги транспортира до него, след което да получи генерираното от него като отговор ACL съобщение, да го трансформира във вид, отговарящ на заявката от външната система, и да го изпрати към нея, тук се грижи и за осигуряване на достъп до базата данни на chat-системата на портала. Този достъп е нужен на агента FraudDetector, за да проверява за подозрителни съобщения директно в базата, постигайки по този начин най-висока ефективност, защото се избягват допълнителните слоеве от стандартните архитектури, грижещи се за транспорта на данните.

2.4.3. Агент Statistician

Този агент е проектиран, но към момента няма реализация. Неговото предназначение е да събира статистическа информация, касаеща работата на портала и да я предлага за използване на външни системи чрез интерфейс.

Представяне на проблема

При оценяването, извършвано от агента Evaluator, има различни алгоритми за формиране на крайния резултат (брой точки). Два от тях са описани във функционалността на агента, друг е в процес на проектиране. Тъй като при оценяването на тестовете преподавателят има възможност да коригира оценката, предложена от агента Evaluator, то той ще има възможност да избира каква точно да бъде тя. След набиране на достатъчно оценени въпроси от даден преподавател е възможно да се изчисли статистически този преподавател с кой от използваните от агента Evaluator алгоритми има най-близки резултати – и съответно да му бъдат предлагани точки, изчислени от най-близкия като резултатност на него алгоритъм.

Предназначение (функционалност) на агента

Основната идея, с която бе проектиран агентът Statistician, беше да събира информация за точките, дадени от всеки преподавател и впоследствие да предлага на

преподавателя при оценяване на въпросите точки от най-близкия като резултати до неговото оценяване алгоритъм.

Функционалност на неговите поведения ще бъде да съхранява информацията за всички обработени отговори с всички подробности от всички алгоритми за изчисление, използвани от Evaluator агента. На него ще му е нужна обратна връзка за това колко точки оценяващият преподавател е поставил на всеки отговор. Така той ще натрупва база от знания за всеки преподавател и ще може да прецени кой от алгоритмите най-добре „пасва“ на стила на оценяване на конкретния преподавател. При връщане на резултатите от агента Evaluator информация от този агент ще определя кой от резултатите от всички алгоритми да бъде представен на оценяващия преподавател като основен, а резултатите от останалите алгоритми ще бъдат алтернативни.

Друга функционалност на този агент ще бъде да представя актуална статистика за представянето на всеки от изчисляващите алгоритми, като „най-слабите“ от тях ще излизат от употреба, докато нови и по-добре представящи се ще бъдат добавяни в агента Evaluator. Това следене на поведението на алгоритмите придобива истински смисъл при добавянето на т.нар. генетични алгоритми, върху което все още се работи – както е известно те могат да бъдат „обучавани“, като по този начин тяхната ефективност може да се променя.

След известно натрупване на данни от работата на агентите стана ясно, че статистическата информация може да бъде много по-обширна от първоначално предвидената. Затова реализацията на този агент е отложена докато бъдат оформени основните изисквания към статистиката, която той ще трябва да предоставя.

Поведение на агента

Основното поведение на този агент е предвидено да бъде събирането на статистически данни за това кой преподавател с кой от алгоритмите за изчисление имат най-близки резултати. Това поведение ще бъде проактивно, като агентът ще се задейства при промяна в околната среда, сигнализираща край на оценяването на даден тест.

Реактивно поведение ще бъде реализирано при отговорите на запитванията от външни системи за статистическа информация, която все още предстои да бъде уточнена.

Околна среда на агента

Освен задачите, свързани с трансформирането и транспорта на съобщения към и от агентите, ще трябва да предоставя условия, в които агентът да може да прецени дали оценяването на даден тест е приключило и е време за извличане на статистически данни. За тая цел средата ще трябва да поддържа достъп до системата за тестове на портала DeLC.

3. Резултати от апробацията на системата

При апробацията е използван подход, разделен на две основни стъпки:

1. Симулационен тест върху реални данни от проведени вече изпити.
2. Реален тест по време на провеждане на изпит.

Първата стъпка се състои от подбиране на подходящи данни от портала, получени от работата на студентите с него – това включва дейности като решаване на тестове, използване на вградената chat-система, използване на библиотеки с ресурси и др. Върху тези данни бяха проведени първоначално unit тестове и корекции на алгоритмите до постигане на търсеното поведение.

Втората стъпка се състои от тест на системата по време на реален изпит, т.е. въвеждане в реална експлоатация. По време на тази стъпка особено важно беше да бъдат събрани данни за работата на всеки алгоритъм и агент, върху които да бъдат направени подробни анализи относно поведението и резултатите им. На базата на тези анализи бяха направени подобрения в алгоритмите.

3.1. Резултати от работата на агент Evaluator

В Таблица 1 са представени обобщени резултати от изчисленията на агента Evaluator към 21.01.2013 г., сравнени с тези от периода до 21.01.2013 г. Автоматичното оценяване на агента е използвано в 22 изпита, като общият брой на обработените

въпроси към момента е 4611. От тях на 1918 въпроса отговори не са дадени и те се изключват от статистиката за оценяването като непредставяващи интерес, защото при тях агентът има 100% успеваемост в оценяването. В данните са приложени само непазните отговори (2693), тъй като те са тези, за които се цели максимална коректност при автоматичното оценяване.

Таблица 1. Обобщени резултати от работата на агента Evaluator.

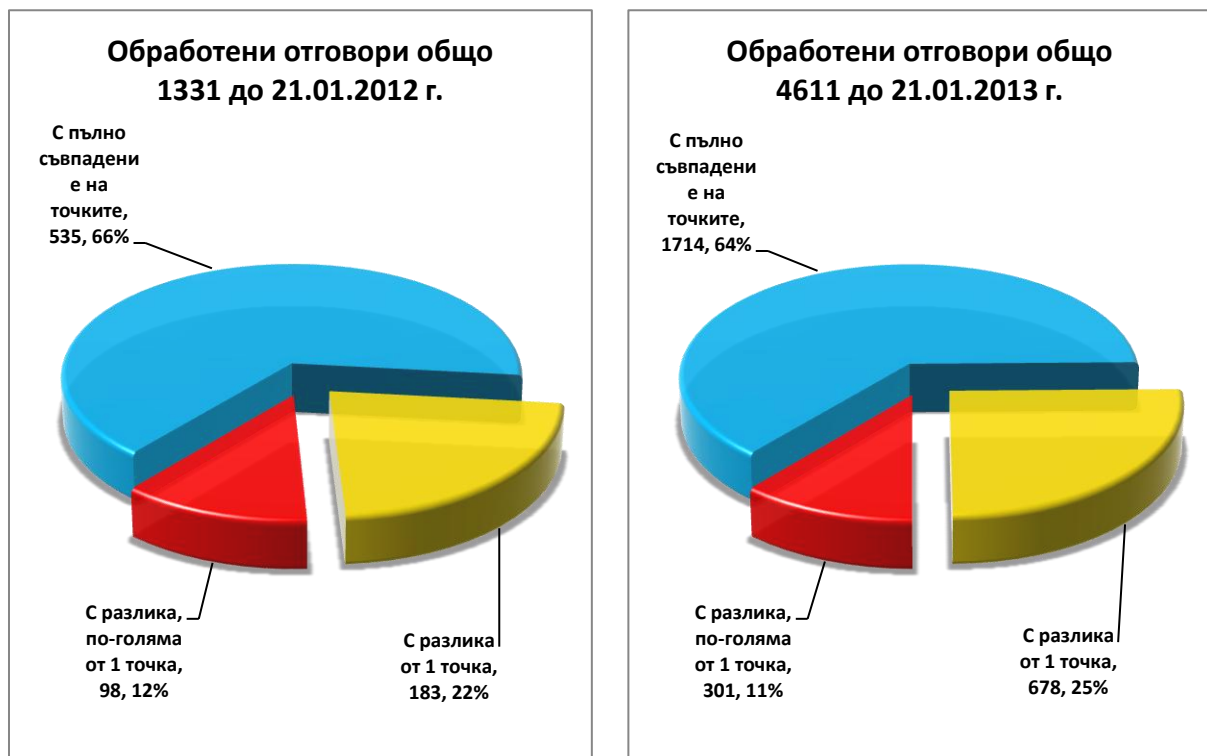
| Общо зададени въпроси | До 21.01.2012 г. | | До 21.01.2013 г. | |
|-------------------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| | 1331 | % | 4611 | % |
| Въпроси без отговор | 515 | 38.69% | 1918 | 41.60% |
| Получени отговори | 816 | 61.31% | 2693 | 58.40% |
| С пълно съвпадение на точките | 535 | 65.56% | 1714 | 63.65% |
| С разлика от 1 точка | 183 | 22.44% | 678 | 25.17% |
| Останалите | 98 | 12.00% | 301 | 11.18% |

Забелязват се следните тенденции:

- ✓ Точността на изчисление на точките за отговорите от агента при пълно съвпадение между агент и проверяващ бележи лек спад от около 3% (от 61.31% на 58.4%);
- ✓ Изчислените точки от агента с минимална разлика с проверяващия (1 точка) бележи ръст с около 3% (от 22.44% на 25.17%). Това показва леко понижение на точността на изчисление за втория период на отчитане;
- ✓ Процентът на отговорите с грешно изчислени точки (с разлика над 1 точка) се запазва относително постоянен, като при него има понижение с под 1% (от 12% на 11.18%). Тази тенденция показва стабилност в изчисляваните резултати въпреки споменатия по-горе лек спад на точността, защото означава, че алгоритмът, използван от агента, не показва склонност към изчисление на грешни отговори с натрупването на резултатите от работата му.

На Фигура 2 са показани резултатите от горната таблица в графичен вид – процент на отговорите с пълно съвпадение на точките, дадени от агента и от оценяващия преподавател, процент на отговорите с минимална разлика (1 точка) в точките, процент

на останалите отговори (с разлика по-голяма от 1 точка) – за всеки от сравнените периоди.



Фигура 2. Резултати от оценяването на агента Evaluator.

3.2. Резултати от работата на агент FraudDetector

Тук накратко са представени обобщени резултати от работата на агента FraudDetector, свързана с проверката на chat-съобщенията. Общият брой на обработените съобщения към момента е 2497. От тях на 2421 са преценени от агента като неподозрителни, а 76 са маркирани като такива, чиято тема е свързана с учебния материал.

Описаните резултати са получени при следната параметризация на агента:

- Минимална дължина на думите – 4 символа;
- Минимален брой на думите в съобщението – 1 дума;
- Минимален брой точки за съобщение, при достигането на които то да се отчита като свързано с учебния материал – 160 точки.

След внимателно преглеждане на всички съобщения са направени изводи, обобщени в Таблица 2.

Таблица 2. Обобщени резултати от работата на агента FraudDetector.

| Общо обработени съобщения | До 21.01.2012 г. | | До 21.01.2013 г. | |
|--------------------------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| | 2497 | % | 6678 | % |
| Преценени като неподозрителни | 2421 | 96.96% | 6522 | 97.66% |
| От тях правилно преценени | 2398 | 99.05% | 6493 | 97.23% |
| От тях неправилно преценени | 23 | 0.95% | 29 | 0.43% |
| Преценени като подозрителни | 76 | 3.04% | 156 | 2.33% |
| От тях заподозрени с основание | 57 | 75.00% | 81 | 51.92% |
| От тях заподозрени без основание | 19 | 25.00% | 75 | 48.07% |

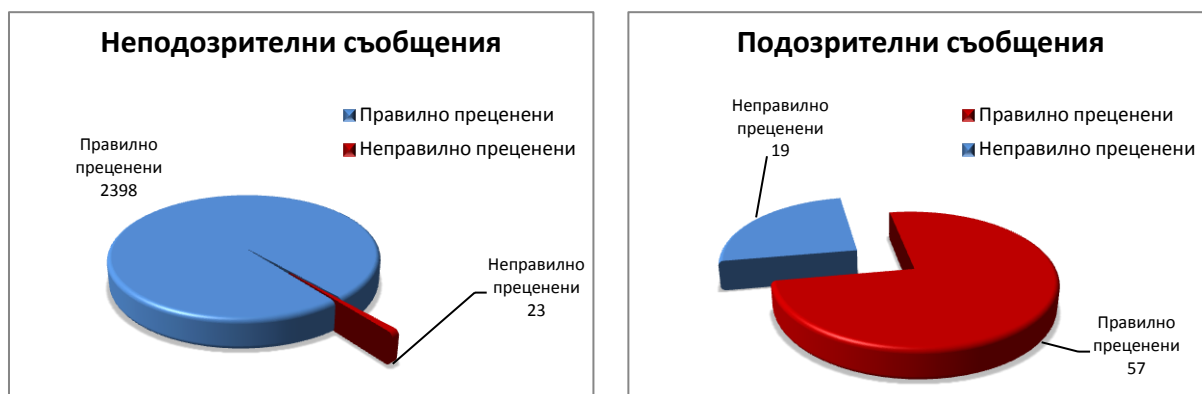
Забелязват се следните тенденции:

- ✓ Точността на разпознаването като неподозрителни съобщения е с тенденция на запазване като леко се е повишила. Това означава, че агентът се справя успешно с отделянето на несъществените за целта му съобщения и е надежден в намирането на съобщения, в които темата е свързана с изпитния материал;
- ✓ Точността на преценените като подозрителни съобщения се е понижала вследствие на това, че агентът е твърде „мнителен“ и заподозира съобщения, които не са свързани с изпитните материали. Това води до внасяне на очакван „паразитен шум“ в резултатите.

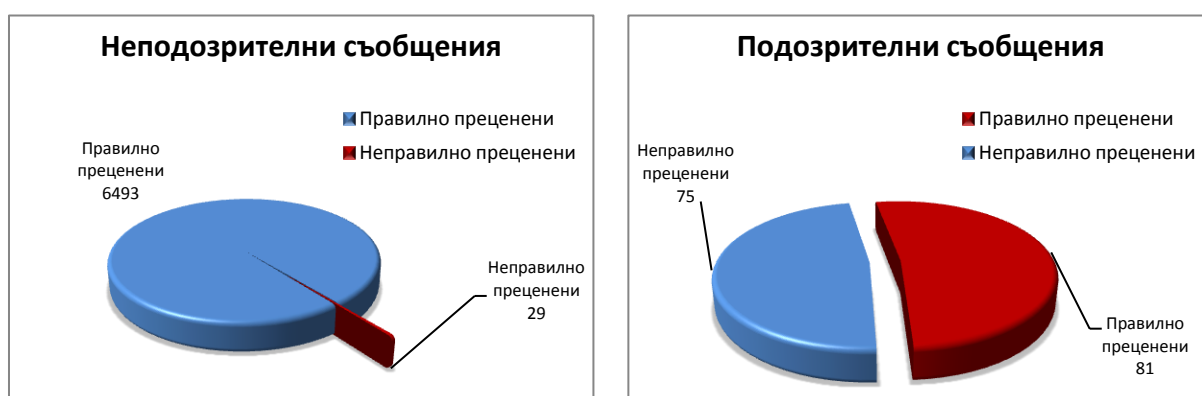
Като извод може да бъде направено сравнението, че точността на заподозрените с основание съобщения (51.92%) далеч надхвърля грешката при преценените като неподозрителни съобщения (0.43%), което прави агента достатъчно ефективен и прецизен дори и в първата си версия.

На Фигура 3 е показано сравнение на обобщените резултати от горната таблица – брой съобщения, разпознати като подозрителни или неподозрителни, и съответния брой на грешно преценените сред тях – за всеки от сравнените периоди.

Общо обработени съобщения до 21.01.2012 г.



Общо обработени съобщения до 21.01.2013 г.



Фигура 3. Резултати от работата на агента FraudDetector, касаещи chat системата.

Част от пропуснатите подозрителни съобщения, т.е. грешно преценени като неподозрителни, са вследствие на неструктурирани правилно граматически думи, изрази или изречени в тях, а също така и вследствие употребата на латиница вместо кирилица, което ясно се вижда на Фигура 4. Тъй като агентът FraudDetector се обучава (изгражда базата си знания) от въпросите от тестовете и техните ключови думи, които в по-голямата си част са на кирилица, той не успява да разпознае написаните на латиница съобщения като подозрителни такива. Тук може да бъде направено подобрение като данните в базата знания бъдат дублирани чрез транслитерация на кирилицата. Въпреки, че очакванията не бяха това да доведе до сериозно повишаване на успеваемостта, защото съобщенията между студентите обикновено са написани на жаргон (Фигура 4) и рядко имат вид, сходен с евентуално транслитерираните термини от кирилица, някои тестове показаха интересни резултати.

| |
|--|
| content |
| teorema na hiit? :) |
| a znaesh li defeniciq za funkcionalna zavisimost |
| i znae6 li teoremata na hiit? |
| brato kvo e tranzakciq |
| ??? kakvo e tranzakciq |
| = relaciqo |
| znaesh li kakvo e definiciq na relaciq ? |

Фигура 4. Някои от съобщенията от chat системата, написани на жаргон.

За избраните съобщения от горната фигура бяха направени тестове, които са обобщени в Таблица 3. За тези съобщения бяха симулирани проверки чрез алгоритъма, който използва агента, но с добавена транслитерация. Така става ясно, че процентът на разпознаване може да се повиши, но не толкова, че да прескочи установената разлика от 70% съвпадение, за да бъде смятано съобщението за разпознато – това показва, че въпроси като тези не биха повлияли на статистиката, т.е. дори да бъде добавена транслитерация няма да се понижат чувствително пропуските при проверките от агента.

Таблица 3. Резултати от евентуална промяна в проверката на съобщенията от агента FraudDetector.

| Оригинално съобщение | В базата знания % съвп. | | Транслитерирано % съвп. | |
|--|--------------------------------------|----|---|------------|
| teorema na hiit? :) | Теорема на Хийт | 0% | TEOREMA NA HIYT | 50% |
| a znaesh li defeniciq za funkcionalna zavisimost | Дефиниция на функционална зависимост | 0% | DEFINITSIYA NA FUNKTSIONALNA ZAVISIMOST | 25% |
| brato kvo e tranzakciq | Какво е транзакция | 0% | KAKVO E TRANZAKTSIYA | 0% |
| ??? kakvo e tranzakciq | Какво е транзакция | 0% | KAKVO E TRANZAKTSIYA | 50% |
| = relaciqo | Релация | 0% | RELATSIYA | 0% |
| znaesh li kakvo e definiciq na relaciq ? | Дефиниция на релация | 0% | DEFINITSIYA NA RELATSIYA | 0% |

Колоните на таблицата съдържат следните данни:

- Оригинално съобщение – съобщението в оригинален вид, както е било изпратено;
- В базата знания % съвп. – текст от базата знания на агента, максимално близък до този от съобщението, но на кирилица и процент на съвпадение при прилагане на алгоритъма за разпознаване;
- Транслитерирано % съвп. – транслитериран текст от горната колона и процент на съвпадение с оригиналното съобщение.

Относно процентите на съвпадение на някои от отделните думи можем да кажем, че варират от 0 до 100%, например:

- ✓ `teorema` → `TEOREMA` (100%);
- ✓ `hiit` → `HIYT` (75%);
- ✓ `funktionalna` → `FUNKTSIONALNA` (54%);
- ✓ `zavisimost` → `ZAVISIMOST` (100%);
- ✓ `tranzakciq` → `TRANZAKTSIYA` (58%);
- ✓ `relaciq` → `RELATSIYA` (44%).

Въпреки че някои от сравненията на отделни думи надхвърлят границата от 70% това се оказва недостатъчно за цялото съобщение, макар и транслитерирано, да попадне в подозрителните, т.е. сумарно да има поне 70% съвпадение.

Друг извод, който може да се направи, е свързан с полезността на агента FraudDetector. Въпреки, че към момента неговата роля е да следи за опити за измами по време на изпит, то напрупаните резултати показват, че от тях може да бъде извлечена полезна информация, касаеща самото обучение, а не само изпитването. Тази информация е свързана с въпросите, чиито отговори студентите най-често търсят по време на изпит, и може доста точно да покаже коя част от преподавания материал е била трудна за усвояване. Това може да доведе до корекции на учебните материали, както и в начина на представянето им пред студентите с цел улесняването на обучаваните в процеса на възприемане на материала.

Перспективи

Представените интелигентни агенти могат да бъдат развивани в следните насоки:

1. *Evaluator* – в набора от алгоритми за формиране на оценката на този агент могат да бъдат добавени нови такива, по-прецизни, които са разработени от специалисти в областта на компютърната лингвистика. С оглед на натрупаната статистика може алгоритмите, разминаващи се най-много в изчислените точки с тези, дадени от преподавателя, да излизат от употреба, а на тяхно място могат да бъдат добавяни нови.
2. *FraudDetector* – неговата база знания може да бъде дублирана, като кирилицата бъде транслитерирана. Този подход би допринесъл за усъвършенстване на агента и подобряване на неговата точност.
3. *Statistician* – този агент предстои да бъде реализиран. Разширенията и усъвършенстванията ще бъдат предприемани с оглед на текущите нужди от конкретна статистическа информация.

Авторска справка

В дисертацията се представя разработване на образователния клъстер IntelliDeLC с хибридна архитектура в съответствие с концепцията на DeLC, осигуряващ интелигентна доставка на електронни услуги и електронно учебно съдържание. Разгледани са подобни системи и са подчертани сходствата и различията с тях. Описани са възможните подходи за разработване на системата с техните предимства и недостатъци, представени са аргументите, с които е избран използвания подход. Разработени са интелигентни асистенти, като са описани проблемите, с които са предназначени да се справят, тяхната функционалност, заявките към и отговорите от агентите (включително суров вид на ACL съобщенията), техните поведения и взаимодействието им с околната среда. Представени са резултатите от симулационните тестове на системата (отделните ѝ модули) и от реалната ѝ експлоатация.

Дефинираните в увода три задачи са реализирани като приносите на дисертацията могат да бъдат обобщени в следните:

1. Изграждане на архитектурата на образователния клъстер – изграждане на агентния възел Agent Village, в който средата е активна, за да бъде осъществена връзката между сървисно-ориентираната архитектура на DeLC и агентно-ориентираната архитектура на AV; реализиране на интерфейса между тези два възела.
2. Реализиране на интелигентите агенти Evaluator и FraudDetector, тяхната интеграция в Agent Village; проектиране на агента Statistician.
3. Провеждане на симулационни тестове и апробация на реализирания прототип на клъстера IntelliDeLC в реален обучителен процес.

Връзките между приносите, задачите, мястото на описание в дисертационния труд и направените публикации могат накратко да бъдат обобщени в следната таблица:

| Принос | Вид принос | Задачи | Параграф | Публикации |
|--------|-----------------|--------|---------------|------------|
| 1 | Научно-приложен | 1 | 2.1, 2.2 | 1 |
| 2 | Научно-приложен | 2 | 2.3, 2.4 | 2, 3 |
| 3 | Приложен | 3 | 3.1, 3.2, 3.3 | 3, 4 |

Публикации по дисертационния труд

1. Stoyanov, H. Zedan, E. Doychev, V. Valkanov, I. Popchev, G. Cholakov and M. Sandalski, *Intelligent Distributed eLearning Architecture*, V. M. Koleshko (Ed.), Intelligent Systems, InTech, March, 2012, ISBN: 978-953-51-0054-6, Hard cover, 366 pages, pp. 185-218.
2. S. Stoyanov, E. Doychev, V. Valkanova, G. Cholakov, *Education Cluster for Intelligent Provision of eLearning Services*, DBKDA 2012: The Fourth International Conference on Advances in Databases, Knowledge, and Data Applications, 29 February – 5 March 2012, Reunion, IARIA, 2012. ISBN: 978-1-61208-185-4, pp. 45-50.

3. S. Stoyanov, V. Valkanova, G. Cholakov, M. Sandalski, *Education Portal for Reactive and Proactive Service Provision*, COGNITIVE 2011: The Third International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications, 25-30 September, 2011, Rome, pp. 99-103, ISBN: 978-1-61208-155-7.
4. S. Stoyanov, G. Cholakov, V. Valkanova, M. Sandalski, *Personalized, Reactive and Proactive Providing of e-Learning Services*, EdiLib Conference, AACE E-Learn 2011 – World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare & Higher Education, Honolulu, Hawaii, USA, 17-21 October, 2011, pp. 2527-2534. (<http://www.editlib.org/p/39108>)

Библиография

- [1] Stoyanov, S. and I. Popchev, "Evolutionary Development of an Infrastructure Supporting the Transition from CBT to e-Learning", *Cyberbetics and Information Technologies (CIT)*, pp. 101-114, 2006.
- [2] Stoyanov, S., I. Ganchev, I. Popchev, and M. O'Droma, "An Approach for the Development of InfoStation-Based eLearning Architectures", *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, vol. 9, pp. 1189-1198, 2008.
- [3] Stoyanov, S., I. Ganchev, I. Popchev, M. O'Droma, and R. Venkov, "DeLC – Distributed eLearning Center", in *In Proc. of the 1st Balkan Conference in Informatics BCI'2003*, Thessaloniki, Greece, 2003, pp. 327-336.
- [4] Ganchev, I., S. Stoyanov, and M. O'Droma, "Consumer-oriented DeLC Service Architecture", in *In Proc. of the 3rd International Conference on Education and Information Systems, Technologies and Applications (EISTA 2005)*, vol. 2, Orlando, Florida, USA, 2005, pp. 213-218.
- [5] Stoyanov, S., I. Ganchev, M. O'Droma, and H. Zedan, "Semantic Multi-Agent mLearning System", in *Semantic Agent Systems: Foundations and Applications.*: Springer Verlag, 2011, vol. 344.
- [6] Stoyanov, S. et al., "University Center for Electronic and Distance Learning DeLC", in *International Workshop „Intelligent eLearning Services and Architectures: Problems and Perspectives”*, Brezovo, 2007, pp. 17-38.
- [7] Stoyanov, S., I. Popchev, O. Rachneva, and A. Rachnev, "DeLC – Technological Environment Supporting the Transition from CBT to eLearning", in *International Scientific Conference “Informatics in the Scientific Knowledge”*, Varna Free University, 2006, pp. 113-127.
- [8] Рахнева, О., Разпределен клъстер за електронно тестване, дисертация, Пловдивски университет, 2006.

- [9] Rahneva, O., A. Rahnev, N. Pavlov, and N. Valchanov, "Authoring and Automatic Generation of Circuitries and Drafts in Distributed e-Testing Cluster (DeTC)", in *ELECTRONICS'05*, Sozopol, 2005, pp. 133-138.
- [10] Rahneva, O., A. Rahnev, and N. Pavlov, "Functional Workflow and Electronic Services In a Distributed Electronic Testing Cluster – DeTC", in *Proceedings 2nd International Workshop on eServices and eLearning, Otto-von-Guericke Universitaet, Magdeburd*, 2004, pp. 147-157.
- [11] Глушкова, Т., Адаптивен модел за електронно обучение в средните училища, 2011.
- [12] Стоянова-Дойчева, А., Дефиниране на процес и средства за рефакторинг в обучението по софтуерни технологии, 2011.
- [13] Вълканова, В., С. Стоянов, Х. Зедан, and И. Попчев, "Модел за изследване на креативното мислене и действие на ученици", in *39-та пролетна конференция на СМБ, Албена*, 2-6 Април, 2010, pp. 274-280.
- [14] Stoyanov, S. et al., "Intelligent Distributed eLearning Architecture", in *Intelligent Systems*, V. M. Koleshko, Ed.: InTech, 2012, pp. 185-218.