

# THE VIRTUAL LEARNING SPACE AS AN INTERNET OF THINGS ECOSYSTEM

*Stanimir Stoyanov, Plovdiv University Paisii Hilendarski“, stani@uni-plovdiv.bg  
Daniela Orozova, Burgas Free University, orozova@bfu.bg  
Ivan Popchev, Burgas Free University, ipopchev@iit.bas.bg*

## ВИРТУАЛНО ОБРАЗОВАТЕЛНО ПРОСТРАНСТВО КАТО ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА ЕКОСИСТЕМА

*Станимир Стоянов, ПУ „Паусий Хилендарски“, stani@uni-plovdiv.bg  
Даниела Орозова, Бургаски свободен университет, orozova@bfu.bg  
Иван Попчев, Бургаски свободен университет, ipopchev@iit.bas.bg*

**Абстракт:** В настоящата статия е представено актуалното състояние на Виртуалното Образователно Пространство. Пространството се изгражда като Интернет на Нещата екосистема. В повече детайли се разглеждат отделните компоненти на пространството. Подробно се разглежда ролята на събитийния модел за опериране на пространството като Интернет на Нещата приложение, както и новата версия на този модел. Формулирани са определени предизвикателства на проекта.

**Ключови думи:** Кибер-виртуални пространства, Интернет на Нещата, Виртуално образователно пространство, Интелигентни асистенти, Събитийен модел.

### 1. УВОД

Виртуалното Образователно Пространство (ВОП) се разработва в Лабораторията „Център за електронно обучение DeLC (Distributed eLearning Center)“ на Пловдивския университет. Пространството е наследник на средата за електронно обучение DeLC [1,2], предоставяща електронно учебно съдържание и електронни образователни услуги за планиране, организация и провеждане на учебен процес в университет. DeLC поддържа международно приетите стандарти SCORM 2004 и QTI 2.1. Средата се използва за подпомагане на учебния процес във Факултета по математика и информатика на Пловдивския университет. Въпреки, че DeLC е успешен проект, предоставящ ефективно използване на информационни и комуникационни технологии в образованието, съществен негов недостатък е липсата на естествена интеграция на неговата виртуална среда с физическия свят, в който се провежда реалния учебен процес. Усъвършенстването на средата и трансформацията ѝ като кибер-виртуално пространство ще увеличи възможностите за адаптация и персонализация на предлаганите услуги за различни приложения и за различни групи потребители, особено за хора в неравностойно положение. Новата инфраструктура, наречена Виртуално Образователно Пространство (ВОП) се изгражда като Интернет на Нещата (ИнН) екосистема [3, 4]. От една страна, ВОП продължава да се развива и усъвършенства като интелигентна среда за електронно обучение, а от друга - като

експериментална среда за решения и прототипни реализации, свързани с управлението на комплексни интелигентни системи, предимно в областта на ИИ и роботиката. Настоящата публикация представя актуалното състояние на пространството. Основно се разглеждат промените във ВОП в сравнение с предишния преглед на пространството, представен в [5]. Дискутират се също основни предизвикателства, съпътстващи създаването на такъв тип инфраструктури.

## **2. КИБЕР-ВИРТУАЛНИ ПРОСТРАНСТВА**

Всеобхватното използване на Интернет и нейната постепенна трансформация в IoT, както и глобализирането на киберпространството, са предпоставка за бързото развитие на кибер-физическите пространства (Cyber-Physical-Spaces или съкратено CPS). В съответствие с [6] кибер-физическите пространства са инженерни системи, изградени и зависещи от синергията на изчислителни и физически компоненти. В този смисъл "физически" означава елементи на системата, заемащи физическо пространство, докато "кибер" се отнася до нематериалните "мислещи" (изчислителни) и "комуникационни" компоненти на системата [7]. Кибер-физическите пространства дават възможност на физическия свят да се слее с виртуалния свят чрез интегриране на изчислителните и физическите процеси, като способстват за тясна интеграция на изчисления, комуникация и контрол в тяхното опериране и взаимодействие с околната среда, в която са разположени [8]. CPS са област на нарастващ научен и практически интерес. Изследванията в тази област подчертават необходимостта от нови модели, абстракции, методи и техники, които да интегрират отделните компоненти на системата по един различен интелигентен начин.

За много приложни области е целесъобразно отчитане присъствието в CPS на човешкото и социалното измерения. Това се дължи главно на безпрецедентното въздействие на киберпространството върху начина, по който взаимодействат и общуват хората помежду си. Достигнали сме точката, където социалната и човешката динамика става неразделна част от CPS, така че включване на понятието „социално” е напълно оправдано – възниква понятието кибер-физически-социални пространства (CPSS) [9]. Вече се появява и понятието кибернетично-физическо-социално-мислещо хиперпространство (CPST) като израз на тясното сливане между кибер пространство, физическо пространство, социално пространство и пространство на мислене, като основа за изграждане на интелигентни светове [10].

Често тези пространства наричаме с общото наименование интелигентни пространства. Обикновено те разчитат на облачни инфраструктури за усилване на интероперативността и скалируемостта. Интегриране на интелигентни агенти и семантични онтологии могат да помогнат за управление на комплексността на такива системи и да направят възможно изграждане на големи пространства [11]. Изграждане на едно интелигентно пространство изисква значителни усилия за системна интеграция. Съществуват също специфични проблеми, които са обект на интензивни научни изследвания, като напр. интелигентни устройства, сензори и събиране на значими данни от физическия свят; динамични комуникационни инфраструктури, свързващи пространствено разпределени устройства; системна архитектура и мидълуер; разбиране на информацията и интерфейси; вземане на решения и планиране на действия. Интелигентните пространства имат широк спектър от приложения (текущи и потенциални), като напр., те могат да включват роботика, персонални асистенти с различни приложения (особено за хора в неравностойно положение), интелигентно здравеопазване, интелигентни домове и градове, оптимално използване и пестене на

енергия, интелигентен мониторинг и контрол на околната среда, защита на критични инфраструктури.

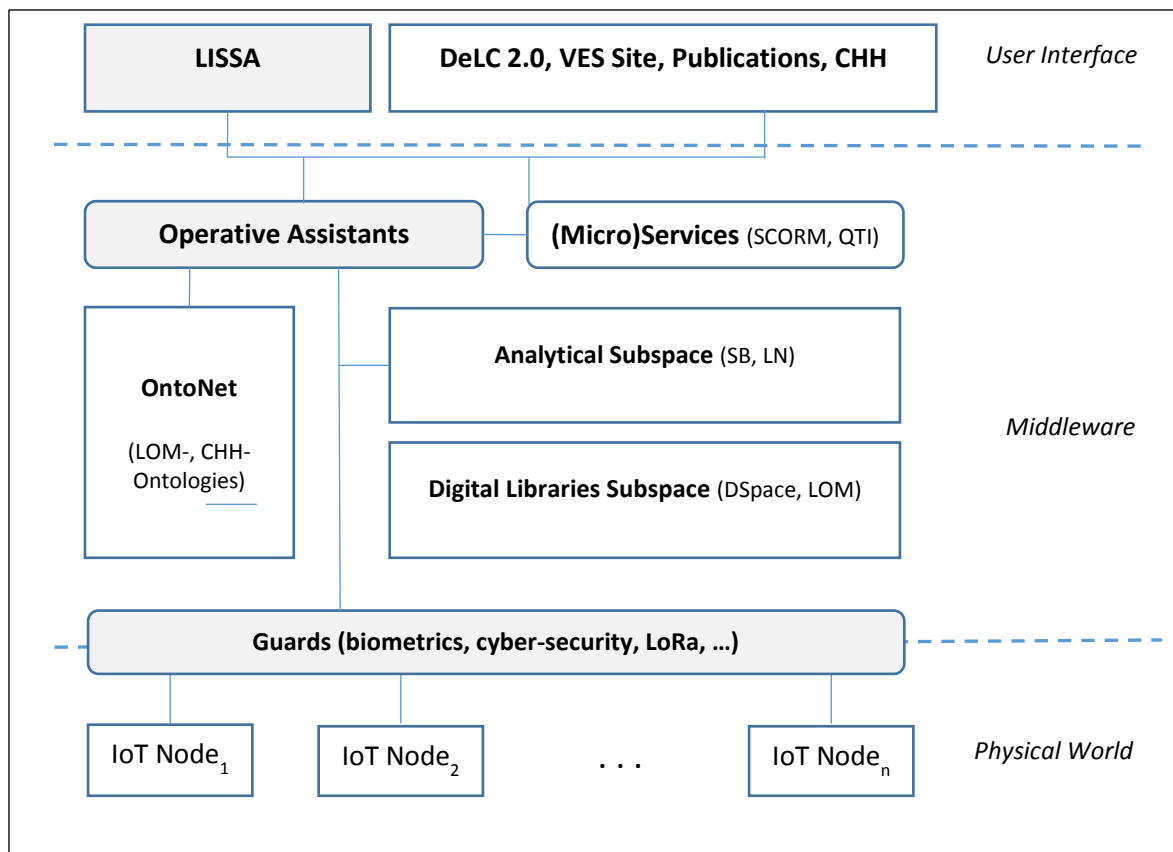
### 3. АКТУАЛНА АРХИТЕКТУРА НА ВОП

Новостите в пространството могат да се обобщят както следва:

- Подобрена е общата архитектура на ВОП;
- Разработена е нова версия на архитектурата на генетичен персонален асистент;
- Разработена е втора версия на събитийния модел на пространството;
- Включена е системата за представяне на контекстно-информирани амбиенти, представяща пространствените аспекти на ИнН екосистеми;
- Предложена е конкретна архитектура на системата за гардове;
- В потребителския слой на пространството са разработени нови компоненти – сайт, представящ пространството, и система за публикации;
- Като самостоятелен проект, тясно свързан с пространството, се оформи системата за културно-историческо наследство;
- ВОП се разширява с компоненти за използване в средното училище.

ВОП се реализира като ИнН екосистема, включваща различни видове активни компоненти, както и различни хранилища на данни и информационни ресурси (Фиг.1.). Основните активни компоненти са асистентите (персонални и оперативни) и гардовете. **Персоналните асистенти (ПА)**, оперирайки като своеобразни персонализирани входни точки на ВОП, подпомагат потребителите при работата им в пространството. При първоначална регистрация в пространството потребителите се снабдяват със собствен персонален асистент. За целта се поддържа генетичен ПА, който взаимодействайки с образователния портал и модулът за регистрация, генерира конкретен за дадения потребител инстанция на персонален асистент. На Фиг.2. е даден част от потребителския интерфейс на прототип на ПА за студенти, наречен LISSA [12]. **Оперативните асистенти** са специализирани интелигентни модули, разположени обикновено върху сървърите на пространството, които подпомагат изпълнението на сценариите, като доставят подходящи интерфейси към наличните електронни услуги и хранилища на данни, правят експертни оценки и осигуряват адаптацията в пространството. **Гардовете** са асистенти със специално предназначение, отговорни за безопасно и ефективно изпълнение на сценариите в пространството. Те оперират като интерфейс между физическия и виртуалния свят на пространството. Гардовете мога също да бъдат част от процеса на идентификация и персонализация, изпълняващи различни разпознаващи потребителите на пространството функции.

Мидълуерът (наричан също оперативен и аналитично ниво) на ВОП се изгражда основно от две подпространства – дигитални библиотеки и аналитично подпространство. Това е нивото с изключително значение за степента на интелигентност на пространството поради това, че тук се съхраняват фоновите знания, които, комбинирани с актуалната сензорна информация, се използват за вземане на решения. **Дигиталните библиотеки** са хранилища на различна информация – електронно учебно съдържание, тестови въпроси, публикации, дипломни работи, курсови проекти. За интелигентно търсене и подпомагане използването на информацията се разработва мета-ниво, имплементирано като взаимно свързани онтологии. Библиотеките се обслужват от специализирани оперативни асистенти, реализирани като BDI рационални агенти.

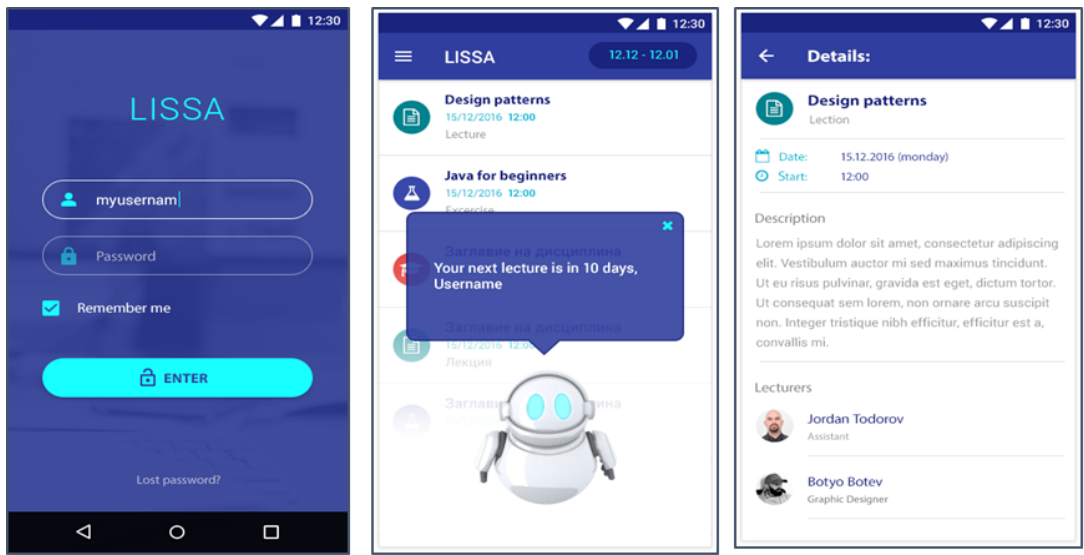


Фиг.1. Архитектура на ВОП

**Аналитичното подпространство** доставя необходимите механизми и средства за подготовка на анализи, статистики, предложения за подобряване и усъвършенстване на учебния процес. В актуалната версия се разработват две такива средства:

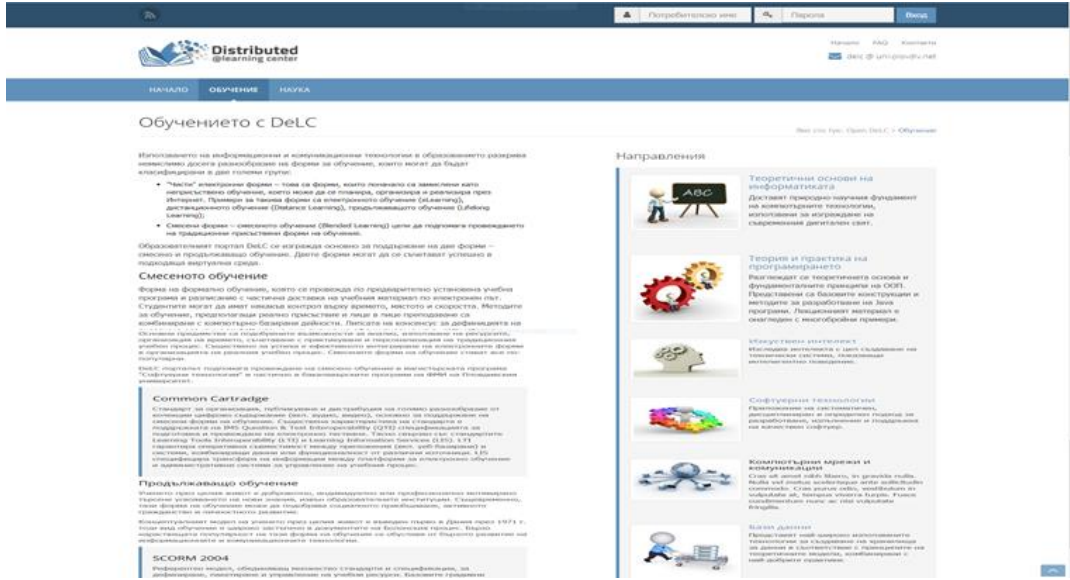
- *Студентска книжка* – използвайки подходящи фонове знания и актуална информация за протичането на учебния процес предлага решения за подобряване успеваемостта на студентите. В книжката се съхранява и доставя на студента цялата история на неговата учебна дейност.
- *Преподавателски бележник* – събира, обобщава и анализира информация за успеваемостта на група студенти по определена дисциплина. Предлага решения за повишаване резултатността на преподавателската дейност. Взаимодейства със студентските книжки.

В слоя на потребителския интерфейс са разположени различни уеб-базирани приложения, които използват ресурсите на пространството. Основно приложение е **образователният портал DeLC 2.0** (Фиг. 3.), който осигурява различни форми за електронно обучение – самоподготовка (self-paced learning), смесено обучение (blended learning) и учене през целия живот (lifelong learning) [13]. Актуално се предлагат повече от 30 електронни лекционни курсове, които непрекъснато се допълват с нови. Студентите се изпитват и оценяват с помощта на система за електронно тестване, интегрирана в портала [14].



Фиг.2. Персонален асистент на студент LISSA

Други услуги предлагани от портала са: записване за избираеми дисциплини, поддържане и актуализиране на график за консултации по разработване на практически проекти, достъп до електронна студентска книжка, автоматично генериране на изпитни протоколи. Поддържа съществени стандарти за електронно обучение като SCORM 2004, QTI 2.1, Common Cartridge (частично). Провеждането на магистърската програма по софтуерно инженерство във Факултета по математика и информатика на Пловдивския университет напълно се осигурява от портала.



Фиг. 3. Предоставяне на учебен материал

Нов уеб-базиран компонент, разположен в слоя на потребителския интерфейс е сайтът „Виртуално Образователно Пространство (ВОП)“. Оперира също като специфична входна точка в пространството, предназначена за предоставяне на информация за актуалното състояние на ВОП. Сайтът е функционално и структурно свързан с другите две специфични входни точки – образователния портал DeLC 2.0 и сайта „Научни

публикации“. Сайтът „**Научни публикации**“ е предназначен за съхраняване и доставяне на справочна информация за научните публикации на екипа. **Средата за игрово-базирано обучение** (Фиг.4.) предоставя достъп до средства, подпомагащи игрово-базирано обучение. Средата е разработена на принципите на обогатената и виртуалната реалност. Актуално се предлага изучаване правилата за движение под формата на игра [15]. Изборът на тематиката се мотивира с нейната актуалност и от недостатъчния брой часове в учебните програми. Целта е децата да изучават правилата за движение по един интересен и креативен начин в среда, близка до реалната. От изследователски аспект, интерес за нас представлява изграждане на интелигентна агентно-ориентирана обогатена, разширена и виртуална реалност. Създадено е също средство за **езиково обучение**, като целта е да се създаде самостоятелна среда за учене през целия живот, подпомагаща обучението по английски език за различни групи потребители, напр., специализиран английски за студенти по информатика [16]. Обмисля се също комбинирано езиково и игрово-базирано обучение за деца. Като самостоятелен проект се трансформира модулът „**Културно-историческо наследство**“. Целта на проекта е разработване на електронно съдържание и средства за представяне на богатото културно-историческо наследство на България. В проекта се използват възможностите на семантичното моделиране (онтологии) за интелигентно търсене и доставка на електронно съдържание [17]. За ефективно подпомагане на потребителите се разработва екскурзовод, опериращ като персонален асистент. Следващо предизвикателство в проекта е представяне на културно-историческото ни наследство като обогатена, разширена и виртуална реалност.



Фиг.4. Игрово-базирано обучение във ВОП

Основната функция на сензорното ниво е събиране, регистриране, трансформиране и пренасяне на различни данни, съществени за оперирането и управлението на пространството. Най-общо, във ВОП се поддържат три типа сензори – виртуални, физически и логически. Физическата сензорна информация се получава и предварително обработва чрез гардовете на пространството. За пространството, физическият свят представлява множество от физически сензори, достъпни за гардовете. За разлика от физическите, виртуалните сензори са абстракции. Типични източници на виртуални сензорни данни в пространството са SCORM 2004 Engine и QTI 2.1. Engine, интегрирани в портала DeLC 2.0.

Асистентите са реализирани като VDI рационални агенти [18]. Понеже агентите не са подходящи за реализиране на бизнес-функционалност, функционалността в

пространството се доставя от услуги и микроуслуги. В [19] детайлно е представен подхода за реализиране на ВОП, основаващ се на интелигентни агенти, взаимодействащи с услуги и микроуслуги. Примери за такива услуги са SCORM 2004 Engine, QTI 2.1 Engine, Event Engine.

#### 4. ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА ЕКОСИСТЕМА

От архитектурна гледна точка, за да бъде пространството ИнН екосистема е съществено включване на компоненти, осигуряващи интеграция на виртуалния и физическия светове, работа със събития, отчитане на време и пространство. За ВОП системата от гардове изпълнява ролята на такъв своеобразен интерфейс между виртуални и физическия свят.

Разработен е собствен **събитийен модел**, като е основният механизъм за синхронизиране работата на компонентите на пространството. Събития могат да се случват в произволно място и по всяко време в пространството. В актуалната (втора) версия, при случване на едно събитие Event Engine (имплементация на събитийния модел) генерира съответен събитийен обект, който може да бъде сериализиран и препратен към асистентите [20]. Те от своя страна могат да анализират съдържащата се в него информация и да вземат решение за адекватно действие. Основните понятия на събитийния модел са обобщени на Фиг.5. Една от новостите, въведена във втората версия на модела, е домейн-събитията да се представят като активни компоненти на пространството - нов вид асистенти, реализирани интелигентни агенти. С това очакваме опростяване на взаимодействието между асистентите и усилване проактивността на пространството. Няма да е наложително асистенти периодично да се интересуват за случване на интересувачи ги събития. Вместо това, когато се случи определено домейн-събитие, то изпраща съобщение за своето възникване към асистентите, абонираните за този тип събитие. Пример и допълнителна мотивация за това решение са представени в [21].

Нека  $E$  множеството на събитията, случващи се в пространството. Едно събитие  $e = \langle id, type, attr \rangle \in E$ , където:

- $id$  – идентификатор на събитието;
- $type$  – тип на събитието;
- $attr$  – множество от атрибути на събитието.

Едно събитие  $e'$  се нарича *атрибутиращо* друго събитие  $e$  ако  $e' \in attr(e)$  – представянето на събитията може да бъде рекурсивна структура. Съответно е *атрибутирано* събитие.

Нека са дадени събитията  $e', e \in E$ , така че  $e'$  – атрибутиращо, а  $e$  – атрибутирани. Дефинираме следните две операции:

- $e' \# e$  (*fire*) – случването на събитие  $e'$  предизвиква случването на събитие  $e$ ;
- $e' \# e$  (*kill*) – случването на събитието  $e'$  предизвиква завършване на събитие  $e$ .

Нека са дадени събитията  $e', e \in E$ . Дефинираме следните понятия:

- $e' \# e$  (независими събития) – събитието  $e'$  не предполага събитието  $e$ ;
- $e' \rightarrow e$  (зависими събития) – събитието  $e'$  предполага събитието  $e$ , т.е. са каузално свързани.

Моделът на събитията поддържа *класификация*, представена като  $E = BE \cup SE \cup DE$ , където:

- $BE$  – множество на базовите събития, напр., базови са събитията ( $time(Date)$ ,  $time(Hour)$ ,  $location$ );
- $SE$  – множество на системни събития;
- $DE$  – множество на домейн-зависимите събития.

Помежду си трите множества са *дизюнктивни*.

Фиг. 5. Събитийен модел на ВОП

Втора новост е въвеждане на операторите *fire* и *kill*. Събитията по дефиниция са рекурсивни – могат да има като параметър друго събитие. Когато събитието-параметър се случи, т.е. става активно, тогава тази активност може да се разпространи към „обгръщащото“ го събитие и то от своя страна да бъде също активирано (да бъде fired). Или активирането на едно вградено събитие да предизвика прекратяване на „обгръщащото“ събитие (да бъде killed). Третата новост, която искаме да споменем, е въвеждането на понятията за *зависими* и *независими* събития.

За представяне на пространствените аспекти сме избрали подход, основаващ се на ambient-oriented modeling. **Calculus of Context-aware Ambients** (CCA) [22] е формална система, предоставя подходяща математическа нотация и средства за моделиране на мобилни и контекстно-информирани системи, отделните елементи на които се представят като амбиенти (от ambient - околел, заобикалящ, обкръжаващ). В [23] детайлно е представен контекстно-информиран модел на DeLC. В [24] са представени идеи и резултати от моделиране на различни аспекти и компоненти на ВОП.

За представяне на времето в пространството ще използваме темпоралната логика **ITL** [25] и поддържащата го софтуерна среда jTempura [26].

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Съществуват многобройни проблеми и предизвикателства, свързани с развитието на ВОП. Накратко ще дискутираме някои от тях. По отношение на общата архитектура на пространството и по специално за усъвършенстване на аналитичното подпространство е целесъобразно да се въведе (и формализира) понятието „учебна успеваемост“ на студент, като критерий за оценка (и самооценка) на ПА. Около това понятие може да се подобрят аналитичните възможности на ПА. Освен това успеваемостта може да стане обект за самообучение на ПА – да подобрява собственото си поведение за подпомагане на студента, така че да достигне успешно „учебно поведение“.

Друга насока, в която се работи, е адаптиране на пространството за използване в средното училище. Разработва се версия на ПА за подпомагане на ученици в самостоятелна форма на обучение. Допълнително се планира разработване на нови компоненти, отразяващи спецификата на средното училище, като напр., електронен училищен дневник.

Генерално заключение, което можем да направим, отчитайки достигнатото ниво, както и включването на стандартизации и формализации: целесъобразен е нов подход за разработване на референтна архитектура на пространство като ИнН екосистема. Сегашният ВОП да продължи да се изгражда като адаптация на тази архитектура за конкретна приложна област – електронно обучение.

**Благодарности.** Изследването е частично финансирано от НПД на Пловдивския университет с проект № МУ17-ФМИ-001 “EXPERT<sup>L</sup> (Experimental Personal Robot That Learn)”, 2017-18.

## References

- [1] Stoyanov, S. Context-Aware and Adaptable eLearning Systems, PhD Thesis, STRL, De Montfort University, Leicester, UK, 2012.
- [2] Стоянов, С., Попчев, И. DeLC – минало, настояще, бъдеще, пленарен доклад, Международна конференция „From DeLC to VelSpace”, 2014, Пловдив.

- [3] Stoyanov, S. A Virtual Space Supporting eLearning, Proceedings of the Forty Fifth Spring Conference of the Union of Bulgarian Mathematicians, Pleven, 2016, 72-82.
- [4] Стоянов, С., Попчев, И. Инфраструктури за електронно обучение, списание „Техносфера“, БАН, 2015, 4(30), 38-45.
- [5] Стоянов, С., Орозова, Д., Попчев, И. Виртуално образователно пространство – настояще и бъдеще, Юбилейна научна конференция с международно участие „Новата идея в образованието“, 2016, Бургас, 410-418.
- [6] NSF, National Science Foundation, Cyber-physical systems, 2013.
- [7] Bradley, J., Atkins, E. Coupled Cyber-Physical System Modeling and Coregulation of a CubeSat, IEEE Transactions on Robotics, 2015, Vol. 31, No. 2, 443-456.
- [8] Guo, B., Yu, Z., Zhou, X. A Data-Centric Framework for Cyber-Physical-Social Systems, IT Pro, 2015, 4-7.
- [9] Wang, F. The Emergence of Intelligent Enterprises, From CPS to CPSS, IEEE Intelligent Systems, 2010, 85-88.
- [10] Ning, H., et. al. From Internet to Smart World, IEEE Access, 2015, Vol.3, 1994-1999.
- [11] Sanislav T., S. Zeadally, G. Dan Mois, A Cloud-Integrated, Multilayered, Agent-Based Cyber-Physical System Architecture, Computer, April 2017, 27-37.
- [12] Todorov, J., Valkanov, V., Stoyanov, S., Daskalov, B., Popchev, I., Orozova, D. Chapter 6: Personal Assistants in a Virtual Education Space, in: Eds.: V. Sgurev, V. Jotsov, J. Kacprzyk, “Practical Issues of Intelligent Innovations”, Springer Book Series “Computational Intelligence”, Springer, 2017 (to print).
- [13] Doychev E., A. Stoyanova-Doycheva, S. Stoyanov, V. Ivanova, Agent-Based Support of a Virtual eLearning Space, In: Proceedings of 8th International Conference ICCCI 2016 (eds. N. T. Nguyen, Y. Manalopoulos, L. Iliadis, B. Trawinski), Part II, September 28-30 2016, Halkidiki, Greece, Computational Collective Intelligence, Springer Verlag, 35-44.
- [14] Kehayova, I., Valkanov, V., Malinov, P., Doychev, E. Architecture of a Module for Analyzing Electronic Test Results, IEEE 8<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Systems, 2016, Sofia, 779-784.
- [15] Петров, А., Петров, А., Вълканова, В., Димитров, И. Игриво-базирано обучение във Виртуално Образователно Пространство, Юбилейна научна конференция с международно участие "Новата идея в образованието", 2016, БСУ.
- [16] Stoyanova-Doycheva, A., Ivanova, V., Stoyanov, S., Doychev, E. An Intelligent System in Support of English language Learning and Teaching, Юбилейна научна конференция с международно участие "Новата идея в образованието", 2016, БСУ.
- [17] Miteva, M., Stoyanova-Doycheva, A., Stancheva, N. Development Intelligent Environment for Generating eLearning Lessons about Cultural-Historical Heritage of Bulgaria, Юбилейна научна конференция с международно участие "Новата идея в образованието", 2016, БСУ.
- [18] M. Wooldridge, An Introduction to MultiAgent Systems, Wiley, 2009.
- [19] К. Граматова, Изграждане на Виртуално Образователно Пространство като екосистема в Интернет на нещата, дисертация, Пловдивски университет, 2018.
- [20] Гуглев, Ж., Стоянов, С. Модел за представяне и разпространяване на събития във Виртуалното Образователно Пространство, Международна конференция „Дж. Атанасов, София, 2017, 261-264.
- [21] Стоянов С., Изграждане на кибер-виртуални пространства, Национална научна конференция „Образование и наука – за личностно и обществено развитие“, 27-28 октомври 2017, Смолян, 6-21.
- [22] Siewe, F., Zedan, H., Cau, A. The Calculus of Context-aware Ambients, Journal of Computer and System Sciences, 2011, 77, 597–620

- [23] Al-Sammarraie, M., H. Policy-based Approach For Context-aware Systems, PhD Thesis, Software Technology Research Laboratory De Montfort University, 2011, Leicester, United Kingdom
- [24] Стоянов, С., Глушкова, Т., Попчев, И. Моделиране на интелигентни контекстно-зависими системи, Инженерни науки, 3/2017, LIV, БАН, 2017, 5-21.
- [25] Moszkowski B. Compositional reasoning using Interval Temporal Logic and Tempura, Lect. Notes in Comp. Sci.,1536, 1998, Springer, 439-464.
- [26] Вълканов, В. Контекстно-ориентирано управление на електронни услуги, дисертация, Академично издателство „Проф. Марин Дринов“, 2013.