

ИЗГРАЖДАНЕ НА КИБЕР-ВИРТУАЛНИ ПРОСТРАНСТВА

Станимир Стоянов

***Резюме.** В настоящата статия е представен многоетапен подход за изграждане на кибер-виртуално пространство като IoT екосистема, наречено Виртуално Образователно Пространство. В повече детайли се разглеждат актуалното състояние на пространството и следващия етап – разработване на референтно пространство. Дискутира се също новата версия на модела на събитията, който представлява фундаментална концепция на пространството. Формулирани са определени предизвикателства на проекта.*

***Ключови думи:** кибер-виртуални пространства, IoT, виртуално образователно пространство, интелигентни асистенти, агентно-ориентирани архитектури, събитиен 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 (Stoyanov, 2012, Стоянов, Попчев, 2016), 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 (за самоподготовка) и QTI 2.1. (за електронно тестване). 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 Internet of Things (IoT) екосистема (Stoyanov, 2016, Стоянов, Попчев, 2016). 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 IoT и роботиката.

Настоящата публикация цели представяне на подхода за изграждане на ВОП като кибер-виртуално пространство и по-специално като IoT екосистема. Накратко е представено актуалното състояние на прототипната реализация на пространството. 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 (NSF, 2013) 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 (Bradley, Atkins, 2015). 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 (Guo, Yu, Zhou 2015). 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 ли 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) (Wang, 2010). 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 (Ning, 2015).

Често тези пространства наричаме с общото наименование *интелигентни пространства*. 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. Подход за изграждане на ВОП

За изграждане на ВОП предлагаме един итеративен подход, който включва етапите, които ще бъдат представени накратко в този раздел. Етапите имат концептуален характер, като определени дейности, принадлежащи към различни стъпки могат да бъдат извършвани паралелно.

3.1. Реинженеринг на DeLC

Посредством реинженеринг строго многослойната архитектурата на DeLC се „разми“ и се замени с нова „аморфна“ архитектура, в която:

- Централизираното управление се заменя с децентрализирано.
- Възлите на DeLC се трансформират в интелигентни автономни компоненти.

- Синхронната комуникация между възлите на DeLC се заменя с асинхронна комуникация.

Допълнително към това се извърши анализ и се прецизира съществуващата функционалност. Като резултат от този етап възникна средата DeLC 2.0.

3.2. Базов ВОП

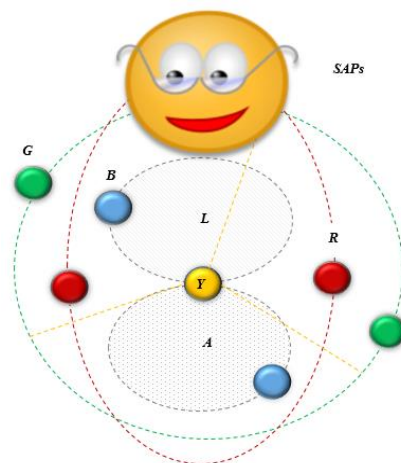
Целта на втория етап е около DeLC 2.0 да се изгради базовата архитектура на ВОП. В редица публикации (Valkanov, Stoyanov, Valkanova, 2016, Стоянов, Вълканов, Вълканова, 2016) са описани детайлно общите характеристики и архитектура на ВОП. В някои по-скорошни публикации (Gramatova, Stoyanov, Doychev, Valkanov, 2015, Стоянов, Орозова, Попчев, 2016) пространството се представя като IoT екосистема. Тук ще представим накратко актуалното състояние на пространството.

ВОП се изгражда като IoT екосистема на следните три логически (условни) нива:

- Ниво на достъп до ресурсите на пространството.
- Оперативно и аналитично ниво.
- Сензорно ниво.

Пространството се състои от различни типове компоненти. Основни са асистентите, които се имплементират като интелигентни агенти. Различаваме следните типове асистенти (Фигура 1):

- G – персонални асистенти. Могат да се разполагат върху различни типове потребителски устройства – мобилни телефони, часовници, гривни, очила, роботи.
- B – оперативните асистенти. Обикновено се разполагат върху сървърите на пространството.
- Y – събития.
- R – гардовете.



Фигура 1. Архитектура на ВОП

Достъпът до информационните ресурси и услугите на пространството се осъществява основно посредством **персонални асистенти (ПА)**. Основното предназначение на ПА е да подпомагат потребителите (в случая студенти и преподаватели) при работата им в пространството. Те оперират като своеобразни персонализирани входни точки на ВОП. При първоначална регистрация в пространството потребителите се снабдяват със собствен персонален асистент. За целта

се поддържа генетичен ПА, който взаимодействайки с образователния портал и модулет за регистрация, генерира конкретен за дадения потребител инстанция на персонален асистент. Тези асистенти се разработват като BDI рационални агенти. В актуалната версия на ВОП е създаден прототип на ПА за студенти, наречен LISSA (Todorov, Valkanov, Stoyanov, Daskalov, Popchev, Orozova, 2017). В LISSA е интегриран опростен интерфейс, с възможности за разбиране и генериране фрази на естествен език (английски).

Допълнителна възможност за работа на потребителите с пространството се предоставя от така наречените *специализирани* входни точки. В актуалната версия на пространството са интегрирани четири специализирани входни точки.

Образователен портал DeLC 2.0. Актуалната версия на образователния портал поддържа различни форми за електронно обучение – самоподготовка (self-paced learning), смесено обучение (blended learning) и учене през целия живот (lifelong learning). Актуално се предлагат повече от 20 електронни лекционни курсове, които непрекъснато се допълват с нови, например, в процес на разработка, съответно окомплектоване, е учебно съдържание по дисциплини „Интернет на нещата“, „Когнитивна роботика“, „Машинно учене“. Студентите се изпитват и оценяват с помощта на система за електронно тестване, интегрирана в портала (Kehayova, Valkanov, Malinov, Douchev, 2016). 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.

Сайт „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“.

Сайт „Научни публикации“. Друга специфична входна точка, предназначена за съхраняване и доставяне на справочна информация за научните публикации на екипа. Функционално и структурно свързан с другите две специфични входни точки – образователния портал DeLC 2.0 и сайта „Виртуално Образователно Пространство (ВОП)“.

Среда за игрово-базирано обучение. Тази входна точка 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 (Петров, Петров, Вълканова, Димитров, 2016). 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.

Проект „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 (Miteva, Stoyanova-Doycheva, Stancheva, 2016). 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.

Езиково обучение. Целта е да се създаде самостоятелна среда за подпомагане обучението по английски език за различни групи потребители, напр., специализиран английски за студенти по информатика (Stoyanova-Doycheva, Ivanova, Stoyanov, Doychev). Обмисля се също комбинирано езиково и игрово-базирано обучение за деца.

Оперативното и аналитичното ниво на ВОП се изгражда от две подпространства – *дигитални библиотеки* (L) и *аналитично подпространство* (A). 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.

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.

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.

3.3. Референтен ВОП

Целта на този етап е, изградената инфраструктура на пространството за подпомагане на електронно обучение да бъде прецизирана, формализирана и разширена за да може да стане адаптируема за различни IoT приложения като напр., интелигентна медицина, интелигентна околна среда, интелигентно селско стопанство, интелигентна логистика, интелигентни градове. Много трудна за постигане цел, изискваща справяне с редица предизвикателства.

Според нас, основа за решаване на тази задача е създаване на формализирани референтни модели за представяне и работа с три фундаментални за IoT приложенията концепции – време, местоположение и събития.

В концепцията на ВОП, **събитийният модел** 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 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 (Гуглев, Стоянов). Те от своя страна могат да анализират съдържащата се в него информация и да вземат решение за адекватно действие. Събитията се разглеждат като пасивни елементи на пространството.

Тук ще представим накратко **новата версия** на събитийния модел (Фигура 2.). Една от новостите 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 усиляване проактивността на пространството. Няма да е наложително асистенти периодично да се интересуват за случване на интересоващи ги събития. Вместо това, когато се случи определено домейн-събитие, то изпраща уведомление („Аз съм тук!“) към асистентите.

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* е ако $e' \in attr(e)$ – представянето на събитията може да бъде рекурсивна структура. Съответно e 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, актуално ($time(Date, Hour)$, location);
- SE – множество на системни събития;
- DE – множество на домейн-зависимите събития.

Помежду си трите множества са *дизюнктивни*.

Фигура 2. 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 да подкрепим с още аргументи представянето на домейн-събитията като агенти ще разгледаме един типичен пример. Нека е дадено събитието $L = \langle AI, domain, attr(..., date, time(start, end), ...) \rangle$, където *date* и *time* са базови събития. За да може събитието да се активира (*fire*), съответно да се терминира (*kill*), е необходимо то да бъде инициализирано от околната среда – от актуалното учебно разписание се

присвояват стойности на *date*, *start*, *end*. Случване на събитието *date* (настъпване на съответната дата) и на събитието *start* (настъпване на началния час на лекцията) предизвикват случване на събитието *L*. Съответно, настъпване на събитието *end* (час на завършване на лекцията) предизвиква термиране на събитието *L*. Понеже *L* е реализирано като агент, той последователно уведомява асистентите за започване и завършване на лекцията *AI*. Да предположим, че в системата е зададено също събитието $LI = \langle ST, domain, attr(\dots, date, time(start, end), \dots) \rangle$ - въпросът е дали тези две събития са зависими или независими. Отговорът зависи от състоянието на околната среда – ако лекциите се четат от един и същи лектор, те са *зависими*, т.е. не могат да бъдат по едно и също време. Ако се четат от различни лектори в различни курсове те са *независими*.

От примера с двете лекции следва изводът, че двете събития са *зависими* или *независими*, в зависимост от състоянието на околната среда, а не само от атрибутите, т.е. околната среда влияе върху случването на събитията и зависимостите между тях. Реализирането на домейн-събитията като агенти е оправдано, понеже те могат да изследват околната среда и да реагират гъвкаво в зависимост от случая. Агентно-ориентираната парадигма е адекватен подход за работа с динамично променящи се среди.

За представяне и работа с **местоположения** ще използваме Calculus of Context-aware Ambients (CCA) (Siewe, Zedan, Cau, 2011). CCA 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* - околн, заобикалящ, обкръжаващ). В (Al-Sammarräie, 2011) детайлно е представен контекстно-информиран модел на DeLC. В (Стоянов, Глушкова, Попчев, 2017) са представени идеи и резултати от моделиране на различни аспекти и компоненти на ВОП.

За представяне на **времето** в пространството ще използваме темпоралната логика TTL (Moszkowski, 1998) и поддържащата го софтуерна среда jTempura (Вълканов, 2013).

Освен представените по-горе формални средства за генетичния ВОП са необходими решаването на допълнителни проблеми, свързани с изграждане на единна технология за разработване на пространството, усъвършенстване на системата от гардове и разработване на референтни IoT архитектури на асистентите, включващи възможности за самообучение (машинно учене).

Гардовете са „най-разноцветните“ компоненти на пространството – имат разнородно предназначение и могат да оперират навсякъде в пространството. Основните функции на гардовете могат да се обобщят както следва:

- Те осъществяват интеграцията на виртуалното пространство с физическия свят – вид интерфейс между двата свята.
- Те се използват за повишаване ефективността и сигурността на опериране на пространството.
- Те подпомагат работата с времето, местоположението и събитията.

В зависимост от предназначението им гардовете могат да бъдат *физически*, *виртуални* и *логически*. Изключително съществена е ролята на логическите гардове, задачата на които е да събират сурови (първични) данни от единични или групи физически сензори. Тези данни могат да бъдат първоначално обработени, трансформирани и транспортирани към останалите компоненти на пространството. В

този смисъл, логическите гардове оперират като своеобразен интерфейс между физическия и виртуалния свят във ВОП.

Интегрираната технология предоставя възможности и средства за синтактично и комуникационно взаимодействие между различните типове компоненти, използвани в пространството и разположени в различните архитектурни нива. Основа на интегрираната технология за изграждане на ВОП са Java базираните стандартни технологии. Основни компоненти на пространството са асистентите, реализирани като интелигентни агенти – автономен софтуер със сравнително сложна вътрешна архитектура. Сам по себе си един агент е софтуерен компонент, опериращ отчитайки динамиката на околната среда и неподходящ за доставка на бизнес-функционалност. Услугите са добро решение за реализация на функционалност, но те са статични, не са проактивни и не могат да бъдат самостоятелни компоненти в пространството. По тази причина агенти включват във вътрешната си архитектура подходящи интерфейси към услуги. Така пространството оперира като екосистема за електронно обучение, отворена за разширяване с нови образователни услуги. Освен това, асистентите трябва да могат да комуникират с физическия свят. За целта в технологията се използват подходящи агентно-сензорни интерфейси, които по своята същност са логически гардове, разполагани върху едночипови и едноплаткови компютри и програмирани като модули (bundles).

За създаване на референтни архитектури на IoT асистенти се работи в три насоки:

- Разработване на подходящи абстрактни интерфейси и поддържащи програмни средства за работа със системите за представяне на събития, време и местоположение.
- Разработване на интерфейси към логическите гардове, осъществяващи връзката с физическия свят.
- Разработване на интерфейси и кореспондиращи програмни средства към фонови знания, представени като онтологии.

Относно машинното учене е необходимо да се изследва голямото разнообразие от теоретични постановки и да се изберат подходящи за нашите цели методи. Допълнително към това, трябва да се разработят модели за самообучение, които да подпомогнат адаптирането на теоретичните методи за използване в асистентите на пространството.

3.4. Роботизиран ВОП

Когато искаме да разработваме IoT системи за различни приложни области на основата на референтния ВОП, в зависимост от естеството на конкретното приложение определени функционални елементи могат да се изпълняват от роботи или роботизирани устройства и механизми. Приемаме, че архитектурата на роботите може да се представи като тази на интелигентен рационален агент. По този начин възниква възможност за повишаване абстракцията на референтните агентни архитектури, така че те да могат да се адаптират за новия тип компоненти на пространството.

Заклучение

В статията е представен подход за изграждане на ВОП като IoT екосистема. Подходът е от концептуално и принципно естество, което означава, че той не определя последователността на изграждане на пространството. На практика, в прототипната

разработка отделните концепции и компоненти от различни етапи се разработват паралелно.

Изграждането на ВОП е свързано решаване на накратко обобщените следни предизвикателства:

- Единна интегрирана технология за реализиране на пространството.
- Референтни архитектури на различните типове асистенти, опериращи в пространството.
- Семантично моделиране на околната среда на асистентите на пространството.
- Формални и формализирани модели и поддържащ софтуер за представяне и работа със събития, време и местоположение.
- Изграждане на единен унифициран интерфейс за интеграция на виртуалното и физическото пространство като основа на системата от гардове.
- Работещи и ефективни модели и методи за машинно учене.

Благодарност

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

Литература

- Stoyanov, S.**, *Context-Aware and Adaptable eLearning Systems*, PhD Thesis, STRL, De Montfort University, Leicester, UK, 2012.
- Стоянов, С. и И. Попчев**, DeLC – минало, настояще, бъдеще, пленарен доклад, *Международна конференция „From DeLC to VelSpace”*, 2014, Пловдив.
- Stoyanov, S.** A Virtual Space Supporting eLearning, *Proceedings of the Forty Fifth Spring Conference of the Union of Bulgarian Mathematicians*, Pleven, 2016, 72-82
- Стоянов, С. и И. Попчев**, Инфраструктури за електронно обучение, *списание „Техносфера“*, БАН, 4 (30), 2015, 38-45.
- NSF, National Science Foundation, *Cyber-physical systems*, 2013.
- Bradley, J. and E. Atkins**, Coupled Cyber-Physical System Modeling and Coregulation of a CubeSat, *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 31, No. 2, 2015, 443-456.
- Guo, B., Z. Yu and X. Zhou**, A Data-Centric Framework for Cyber-Physical-Social Systems, *IT Pro*, 2015, 4-7.
- Wang, F.**, The Emergence of Intelligent Enterprises, From CPS to CPSS, *IEEE Intelligent Systems*, 2010, 85-88.
- Ning, H., et. al.** From Internet to Smart World, *IEEE Access*, Vol. 3, 2015, 1994-1999.
- Valkanov, V., S. Stoyanov and V. Valkanova**, Virtual Education Space, *Journal of Communication and Computer*, Vol. 13 (2), 2016, 64-76.
- Стоянов, С., В. Вълканов и В. Вълканова**, Виртуално образователно пространство като IoT екосистема, *6-та Национална конференция по електронно обучение във висшите училища*, Китен, 2016.
- Gramatova, K., S. Stoyanov, E. Doychev and V. Valkanov**, Integration of eTesting in an IoT eLearning ecosystem – Virtual eLearning Space, *BCI'15*, 2015, Craiova, Romania, ACM.

Стоянов, С., Д. Орозова и И. Попчев, Виртуално образователно пространство – настояще и бъдеще, *Юбилейна научна конференция с международно участие „Новата идея в образованието“*, Бургас, 2016, 410-418.

Todorov, J., V. Valkanov, S. Stoyanov, B. Daskalov, I. Popchev and D. Orozova, *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).

Kehayova, I., V. Valkanov, P. Malinov and E. Doychev, Architecture of a Module for Analyzing Electronic Test Results, *IEEE 8 th International Conference on Intelligent Systems*, Sofia, 2016, 779-784.

Петров, А., А. Петров, В. Вълканова и И. Димитров, Игриво-базирано обучение във Виртуално Образователно Пространство, *Юбилейна научна конференция с международно участие „Новата идея в образованието“*, 2016, БСУ.

Miteva, M., A. Stoyanova-Doycheva and N. Stancheva, 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.

Stoyanova-Doycheva, A., V. Ivanova, S. Stoyanov and E. Doychev, An Intelligent System in Support of English language Learning and Teaching, *Юбилейна научна конференция с международно участие „Новата идея в образованието“*, 2016, БСУ.

Гуглев, Ж. и С. Стоянов, Модел за представяне и разпространяване на събития във Виртуалното Образователно Пространство, *Международна конференция „Дж. Атанасов*, 2017, София (приета за печат).

Siewe, F., H. Zedan and A. Cau, The Calculus of Context-aware Ambients, *Journal of Computer and System Sciences*, 2011, 77, 597–620.

Al-Sammarraie, H., *Policy-based Approach For Context-aware Systems*, PhD Thesis, Software Technology Research Laboratory De Montfort University, 2011, Leicester, United Kingdom.

Стоянов, С., Т. Глушкова и И. Попчев, Моделиране на интелигентни контекстно-зависими системи, *Инженерни науки*, БАН, 2017 (приета за печат).

Moszkowski B. Compositional reasoning using Interval Temporal Logic and Tempura, *Lect. Notes in Comp. Sci.*, Springer, 1536, 1998, 439-464.

Вълканов, В., *Контекстно-ориентирано управление на електронни услуги*, дисертация, Академично издателство „Проф. Марин Дринов“, 2013.

Факултет по математика и информатика, ПУ „Паисий Хилендарски“,
Пловдив 4003, бул. България 236,
+359 32261768, stani@uni-plovdiv.net

DEVELOPMENT OF CYBER-PHYSICAL SPACES

Stanimir Stoyanov

Abstract. This article presents a multi-step approach to building a cyber-virtual space implemented as an IoT ecosystem known as Virtual Education Space. The actual state of space and the next stage namely the development of a reference space are examine in more detail. The new version of the event model a fundamental conception of space is also discussed. Certain challenges of the project are formulated.

Key words: cyber-physical spaces, IoT, Virtual Education Space, intelligent assistants, agent-oriented architectures, event model.