

**Авторска справка за оригиналните научни приноси
в публикации в специализирани научни издания, равностойни на монография, и
на други публикации в съответствие с член 29, параграф 3 и 6 (3) от Закона за
развитие на академичния състав**

на доцент д-р Мая Иванова Димитрова,

представени за участие в конкурс за заемане на академичната длъжност „професор“ в област на висше образование 5. Технически науки, професионално направление 5.2.

Електротехника, електроника и автоматика, научна специалност „Приложение на принципите и методите на кибернетиката в различни области на науката“

(Роботизирани технологии с човеко-машинен интерфейс), обявен в "Държавен вестник", бр. 26 от 21.03.2023, стр. 34.

**Когнитивни, невро-когнитивни и социални аспекти на моделирането
на системите човек-робот**

**1. Концептуален модел на невро-когнитивна обработка на
смеслова/абстрактна и перцептивна/конкретна информация в процеса на
научаване при взаимодействие човек-робот, основан на съвременни изследвания на
ЕЕГ сигнали като маркери на когнитивни процеси (публикация 4.1)**

Моделът формално представя субективния ефект от постъпващата през сензорните системи информация във вид на статистическо нормално разпределение. На когнитивно ниво на анализ тази концептуализация на ефекта, предизвикан от даден стимул, е известна отдавна, в частност в рамките на теорията на многомерното скалиране¹. Същевременно, способността на мозъка на човека да генерира активация, която имитира по честота/амплитуда статистическата природа на стимула, е установена наскоро². Възможността когнитивните и мозъчните процеси да бъдат концептуализирани с единен формален подход – на статистическите разпределения на невронните и субективните ефекти, предизвикани от даден стимул – позволява да бъде предложен нов невро-когнитивен подход, който обяснява различни субективни феномени, проявяващи се на невронно, когнитивно и социално ниво при взаимодействие човек-робот. Отчитането на тези експериментално установени ефекти води до по-

¹ Torgerson, W. S. (1958). Theory and Methods of Scaling. Wiley.

² Lindskog, M., Nyström, P., and Gredebäck, G. (2021). Can the Brain Build Probability Distributions? Front. Psychol. 12, 596231. doi:10.3389/fpsyg.2021.596231

адекватно проектиране на интелигентни системи, адаптирани към индивидуалния потребител на техническата система чрез подход, формулиран в (4.1).

Моделът обяснява конкретни психологически феномени, които присъстват в процеса на взаимодействието човек-робот във вид на субективни бариери, които не позволяват роботът да бъде приет като полезен помощник/асистент на човека в професионални области като педагогика, социални услуги и пр. Т.нар. феномен „злокобната долина“ (Uncanny Valley) е адекватно обяснена чрез статистическо разпределение на предизвиканите субективни ефекти в теорията на Rodger Moore³. В (4.1) теорията на Moore е развита с постулирането на *същностни* и *повърхностни* признаци на стимула – хуманоиден робот, които когнитивната система обработва по различен начин. Когато хуманоидният робот е проектиран така, че да притежава повече същностни, а по-малко повърхностни черти на човека, когото имитира – изпълняващ професионална роля като учител, медицинска сестра, социален работник, рецепционист и пр. – ще бъде по-добре приет от човека, с когото си взаимодейства.

На основата на разгледаните в публикация (4.1) ЕЕГ маркери на когнитивна обработка на постъпващата информация по време на урок – в диапазона от 100 до 600 мс след стимулното въздействие – т.нар. събитийно свързани потенциали (event related potentials) – които са показателни за обработката на абстракции, за фокуса на вниманието и запомнянето на новопостъпваща информация по време на урока – са анализирани респективните психологически ефекти и са предложени педагогически препоръки за създаване на хуманоидни роботи, асистенти на учителя като част от кибер-физичната система за педагогическа рехабилитация в приобщаващото образование.

2. Когнитивна архитектура RELA (robot-enhanced learning architecture) на процеса на научаване, която развива моделите, възпроизвеждащи функционалната специализация на главния мозък на човека (публикация 4.2), с цел приложение в специалното образование, подпомагано от хуманоидни роботи

RELA се състои от 2 основни модула на обработка на постъпващата от сензорните системи информация – интерпретационен модул на две йерархични нива, където протича паралелна обработка – на рационално и интуитивно ниво, и модул, формиращ поведението (публикация 4.2). Връзката на рационалното ниво с поведението е пряка, докато интуитивното ниво се свързва с поведението както пряко, неосъзнато, така и чрез блок на припомняне и преход на осъзнато ниво (recollection). Модулът на работната

³ Moore, R. K. (2012). A Bayesian Explanation of the ‘Uncanny Valley’ Effect and Related Psychological Phenomena. Sci. Rep. 2 (1), 864–865. doi:10.1038/srep00864

памет осигурява наличие на спомен за *епизода* на научаването. Възможно е обаче, споменът да липсва, но *имплицитно* да е осъществено научаване без осъзнаване. Това често се случва в специалното образование или в рехабилитацията. RELA специално отчита феномените, които са характерни за научаването при затруднения в обучението и за по-широко приложение на хуманоидни работи в педагогическия процес. С включването на артистично обучение се подпомагат спонтанно-изразените поведения в резултат на *имплицитно* научаване и се предлага по-голямо включване в специалното образование.

3. Итеративен подход и формален метод за проектиране на игри за кибер-физични педагогически системи (публикации 4.3, 8.1 и 8.2)

Предложен е нов итеративен подход и формален метод за проектиране на игри за кибер-физични педагогически системи в съответствие с индивидуалните потребности на детето и преценката на педагога (публикация 4.3). Процесът на проектиране на конкретна игра за научаване на определени умения е представен като линейна система. Управляващата променлива (в конкретния случай) е двумерен вектор с елементи – u_1 – добавяне на нови функции към играта и u_2 – добавяне на нови конструктивни елементи в играта. Моделът беше успешно приложен при създаването на 4 типа игри за специалното образование, а формулираните хипотези бяха потвърдени статистически. Предимство на линейния модел е във възможността да бъде вграден в интелигентни системи за педагогически приложения, както и в интерактивни системи. В публикация (8.1) е представен контекстът, в който е формулиран развиваният подход за кибер-физичните системи в образованието и педагогическата рехабилитация, а в публикация (8.2) – първите позитивни реакции на децата към игри с роботи.

4. Кибер-физичен подход за проектиране на игри с нехуманоидни роботи, които подпомагат социализацията на децата в приобщаващото образование (публикация 4.4)

В публикация 4.4 е представен нов кибер-физичен подход за проектиране на игри с нехуманоидни роботи, които *имплицитно* подпомагат социализацията на деца в процеса на игра. Индикатор на успех в социализацията е броят на проявите на т.нар. „самоиницииран социален контакт СИСК (self-initiated social contact SISC)“, предложен

от LeGoff⁴ и развит от Dimitrova, Vegt & Barakova⁵ по време на игра, при която едно дете задава цел, а другото се стреми да я достигне, след което ролите се сменят. Играта е разработена с няколко вида интерфейси за различни сензорни или когнитивни потребности – клавиатура, джойстик или безконтактно устройство за проследяване на поглед. Оценките на СИСК се дават от наблюдаващите играта педагог или родител, но могат да се получат автоматично в кибер-физичната система. Сравнителното пилотно проучване открива съществена разлика в показателя СИСК между деца без затруднения и деца със затруднения в научаването. Приложението на играта в педагогическия процес ще намали тази разлика, което е цел на създаването на кибер-физичната система за педагогически приложения.

5. Подход за анализ на нагласи на учители и родители относно включването на предмети по роботика и информационни технологии (ИТ) в основното училище (публикация 4.5)

Подходът е приложен в проучване чрез онлайн въпросник (както и на хартиен носител) проведено през 2018 г. в четири държави: България, Гърция, Хърватия и Босна и Херцеговина. Проучването е част от дейностите в рамките на проекта „Повишаване на благосъстоянието на населението чрез базирано на роботика и информационни технологии иновативно образование” (RONNI), финансиран от Дунавския стратегически проектен фонд (DSPF)⁶. Въпросникът съдържа 3 групи въпроси, касаещи ролята на роботиката и ИТ за когнитивното развитие на детето, за социалното развитие на детето и на възможните политики, които биха съдействали за улесненото включване на тези предмети в училищата в тези страни. В проучването участваха общо 428 лица (231 родители и 197 учители/експерти). Родителите виждат позитивната роля на роботите и ИТ в специалното образование, дори в по-висока степен от учителите. Това е свързано с очакванията към технологиите като средство, усилващо потенциала на учебния процес, особено при деца със затруднения в обучението. Принос на М. Димитрова е формулирането на въпросите, отнасящи се до когнитивното и социално развитие на детето, и теоретичния подход в контекста на кибер-физичните системи за педагогически приложения.

⁴ LeGoff, D.B. (2004). Use of LEGO© as a Therapeutic Medium for Improving Social Competence. *J Autism Dev Disord* 34, 557–571 (2004). <https://doi.org/10.1007/s10803-004-2550-0>

⁵ Dimitrova, M., Vegt, N., & Barakova, E. (2012). Designing a system of interactive robots for training collaborative skills to autistic children. In 15th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL) (pp. 1-8), <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6402179>

⁶ <http://www.ir.bas.bg/ronni/>

6. Структурен подход за анализ на аспектите на сигурността и приемането от потребителя на социално компетентни роботизирани системи (публикации 4.6, 4.7 и 4.8)

В публикация (4.6) е представен структурен подход за анализ на аспектите на сигурността и приемането от потребителя на социално компетентни роботизирани системи. Подходът развива теорията на Chevallier и съавтори⁷ за социалната мотивация като основна детерминанта на поведението на човек, където *наградата* е вид внимание или отношение от страна на другите хора, а не материален стимул. В контекста на тази теория са формулирани основни характеристики на „социалното присъствие“ на хуманоидния робот, който притежава в този случай т.нар. социална компетентност. Предложен е модел „отгоре-надолу“ на оценка на приемането от потребителя на социално-компетентната роботизирана система, където физическото поведение на робота се оценява първо като социален сигнал към човека, след това – като емоционален сигнал и накрая – като функционален сигнал. Този модел води до по-добро разбиране на сигналите, генерирани от робота, и - респективно – до по-голяма безопасност на взаимодействието човек-робот.

В публикация (4.7) подходът е приложен за оценка на имплицитното приемане на различни по тип работи в социално-ориентирани професии като например ко-терапевти. Статистическият анализ показва, че участниците са склонни да проектират положителни личностови особености както върху човешкото лице, така и върху лицата на роботите. Същевременно проектират много внимателно негативни личностови особености. Това може да се приеме в подкрепа на използването на хуманоидни работи в социални роли. Не се наблюдава разлика в оценките в зависимост от пола на участниците.

В контекста на проектирането на социално-компетентни системи за рехабилитация е направено проучване на възприемането на емоционални стимули на когнитивно и неврокогнитивно ниво. Публикация (4.8) прилага двуизмерния модел на емоциите⁸, постулиращ две ортогонални дименсии - емоционална валентност и интензивност - за анализ на възприемането на емоционални стимули – снимки с емоционално съдържание на хора и животни от общодостъпно интернет хранилище. Факторът „пол“ достигна гранично ниво на статистическа значимост по отношение на

⁷ Chevallier, C., Kohls, G., Troiani, V., Brodtkin, E. S., & Schultz, R. T. (2012). The social motivation theory of autism. *Trends in cognitive sciences*, 16(4), 231-239, <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.02.007>

⁸ Harmon-Jones, E., Harmon-Jones, C., Summerell, E.: (2017). On the importance of both dimensional and discrete models of emotion. *Behavioral Sciences*, 7(4), 66, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28961185/>

оценките на възприемането на емоции, т.е. жените оценяват наблюдаваните емоции като по-интензивни, отколкото мъжете. Това е изразено в случая със снимки на хора, но не и на животни. Ако тази тенденция получи потвърждение в по-мощно изследване, това би могло да доведе до препоръки, свързани с индивидуални различия при общуването на социални работи с пациенти относно емоционални стимули или преживявания.

7. Подход за проектиране на системи за достъпност на знания в дигитални и физически хранилища – роля на „киберфизичния учител“ и на „киберфизичния музеен гид“ (публикации 4.9, 8.3, 8.4 и 4.10)

Подходът за проектиране на системи за достъпност на знания в дигитални и физически хранилища развива концепцията за достъпност на Rieber & Estes⁹ като добавя 2 слоя – знание/опит и мотивация – като бариери пред достъпността на знания (публикация 4.9). Включването на хуманоидни работи в педагогическия процес преодолява мотивационната бариера чрез механизма на задържане на интереса и вниманието на детето в увлекателна учебна ситуация. Това допускане е обосновано чрез приложение на теорията на Пиаже¹⁰ за преодоляването на интелектуалния егоцентризм в процеса на когнитивно развитие на детето¹¹ и нейната релевантност към игровите ситуации с работи в образованието. Представеният доклад на 19 Международна Конференция ITNET 2021 (International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training) в Сидни, Австралия (онлайн участие) получи наградата за Най-добра презентация. В публикация (8.3) е представена игра с нехуманоидния робот BigFoot с цел преодоляване на вътрешната – мотивационната – бариера пред достъпността на знания и умения (пространствени отношения, взаимна подкрепа в играта и т.н.), получавани чрез игри. В публикация (8.4) е обосновано включването на работи в артистичното обучение на деца в специалното образование.

Публикацията (4.10) разширява значението на концепцията за достъпност, която отчита и слоевете на знанията/опита и мотивацията при създаване на нови киберфизични системи за подпомагане на обучението при наличието на сензорни или когнитивни затруднения като предлага т. нар. „киберфизичен учител“ и „киберфизичен музеен гид“.

⁹ L.P. Rieber and M. D. Estes, "Accessibility and instructional technology: Reframing the discussion," Journal of Applied Instructional Design, 6.1, 2017, pp. 9-19, https://docs.wixstatic.com/ugd/c9b0ce_233312e76b0f4fb282a069fdd97aea3a.pdf

¹⁰ J. Piaget and B. Inhelder, "The growth of logical thinking from childhood to adolescence: An essay on the construction of formal operational structures", Routledge, 2013.

¹¹ Z. Ramozzi-Chiarottino, "Jean Piaget's Genetic Epistemology as a theory of knowledge based on epigenesis", Athens Journal of Humanities & Arts, vol. 209.

8. Когнитивен подход за проектиране на интелигентни агенти, подпомагащи достъпа до знания от гледна точка на предпочитанията на потребителя към експертно или популярно представяне, както и като подробен или синтезиран текст (публикации 4.11, 8.5, 8.6 и 8.7)

Предложен е нов метод за търсене, извличане, и автоматична класификация на текстово съдържание на Web страници (публикация 4.11). Методът е основан на установени когнитивни особености на текстови единици – например различна честота на срещане в естествения език на думи с определена дължина, които характеризират популярен или експертен текст (публикации 8.5 и 8.6). Проучването потвърди основните хипотези – че степента на детайлност на текста и степента на експертност са независими (ортогонални) дименсии в субективните оценки на участниците в проучването, както и че предложените евристики – оценка на символната дължина на думите и на честота на срещане в естествения език – са индикативни за ниво на експертност на текста. В публикация (8.7) невронна мрежа беше използвана да разпознава признаци на текста в Web страници, класифицирани от експертите като текстово-доминирани. Методът е приложен при автоматично генериране на диалог в системите човек-робот.

Други научни и научно-приложни приноси

9. Модулни невронни мрежи за диагностика на стил на взаимодействие човек – робот (публикации 7.1, 8.8 и 8.9)

В публикация 7.1 е предложен нов невронен метод за разпознаване на профили на потребители, който се обучава по-бързо в случаите, когато векторите на входните данни са сходни. Първият модул на мрежата има за цел „индивидуализация“ на вектора на входните данни – т.е. увеличаване на евклидовото разстояние между входните вектори. Симулациите показват, че обучението до достигане на определена стойност на грешката с индивидуализираните вектори протича по-бързо, отколкото с първоначалните вектори на входните данни. Методът е приложен за автоматично разпознаване на потребители от регистрирани данни за тях – концентрация на вниманието, краткосрочна памет и др. В публикация (8.8) са изследвани условия за ускорено и по-прецизно обучение с невронна мрежа в случаи на различна степен на корелация на входната матрица на данните и изходната матрица на класовете. Изискването за точност на класификацията на профили на стила на потребители е особено важно в адаптивни интерфейсни системи отчитащи персонализирани признаци.

В публикация (8.9) е предложена нова архитектура на система за мониторинг на влияния на околната среда, инструментариума и състоянието на човека, който извършва хирургична манипулация независимо дали в хирургична зала или извън нея (в случаи на бедствие) за прогнозиране на цялостната надеждност на системата. Предложеният подход в публикация (8.8) е приложен в публикация (8.9) за обучение на невронна мрежа с показателите на надеждността на системата за онлайн мониторинг на параметрите на надеждността.

10. Концепция за проектиране на синтетични сензори от високо ниво за подобрена комуникация човек-робот (публикации 9.1, 8.10, 8.11 и 8.12)

В публикация 9.1 е представена концепция за проектиране на синтетични сензори от високо ниво за подобрена комуникация човек-робот. Взаимодействието човек-робот е разгледано на 3 нива – физическо, социално и психологическо. Външната проява на взаимодействието е физическа, например на ниво Web x.0, когато изкуственият агент, реализиран във вид на робот, проявява *инициатива* за диалог с човека. Сензорите от високо ниво разчитат компонентите на външното поведение като социални знаци и правят извод за социални или личностови характеристики на човека. Формален метод за оценка на личностови дименсии „щедрост“ и „склонност към поемане на риск“ чрез прилагане на описаната в публикация (9.1) концепция е представен в публикация (8.10).

Концепцията развива теорията на Jamisola¹² за дифузните усещания като например, способността човек да „усети“ нечий поглед, и възможността това да бъде реализирано в техническа система като предлага модел на възприемането на сложни чувства като, например, „привързаност“, чрез затворения кръг на дифузното усещане, породено от чувството на емпатия, предшестващо формирането на субективно намерение, което от своя страна въздейства на дифузното усещане и го управлява. Сензори, способни да възприемат сигнали, които обозначават тази динамика на *дифузно усещане – субективно намерение*, са наречени синтетични сензори от високо ниво.

Концепцията отчита и случаите, когато е необходимо да се дефинира когнитивна дименсия на по-високо, модално независимо ниво като например символно-знаковата дименсия и приложението и в образование, подпомагано от технологии. Предложеният подход за транслиране на символна информация в знаци (и обратно), представена в (9.1) за подпомагане на обучението в специалното образование, е развит в публикация (8.11).

¹² Jamisola, R. S. (2014). Of love and affection and the gaze sensor. Lovotics, 1(1).

Приложението на тази концепция при създаване на т.нар. „кибер-физична медицинска сестра“ е разгледано в публикация (8.12). Рехабилитационният процес с помощта на социални роботи при тежки заболявания или възрастни хора е по-успешен когато роботът иницира диалог, в който пациентът споделя позитивни спомени като моменти на „привързаност“ към близки хора.

11. Невро-когнитивен подход за проектиране на интелигентни агенти с автобиографична памет (публикации 9.2 и 8.13)

В публикация (9.2) е предложен нов невро-когнитивен подход за проектиране на интелигентни агенти с автобиографичната памет, инспириран от резултатите на експериментално изследване на процесите на извличане от паметта на човека¹³. Изследването постулира 4 типа процеси на *извличане* от модула на епизодичната, или, съответно, на семантичната памет – 2 чрез пряк достъп и 2 чрез генеративно-селективен процес. Тази концепция адекватно съпоставя процесите на научаване и припомняне (когнитивно ниво) на процесите, моделирани от теорията за кодирането по фаза (невро-когнитивно ниво), предложена от Wagatsuma & Yamaguchi¹⁴. Резултатите от проведеното симулационно изследване, имитиращо процеса на търсене на информация в Web, потвърждава хипотезата, че търсенето в мрежата е *автобиографичен* процес като механизъм на запомняне и извличане на информация от паметта на човека. В публикация (8.13) е предложен метод за персонализирано извличане на информация от мрежата по аналогия с формирането на автобиографична памет у човека.

12. Концепция за моделиране на процеси на научаването в човеко-компютърен контекст (публикации 9.3 и 9.4)

Концепция за моделиране на процеси на научаването в човеко-компютърен контекст и в контекста на взаимодействието с интернет-базирани интелигентни агенти е представена в публикация (9.3) и развита в публикация (9.4). В (9.3) са описани редица когнитивни феномени в научаването и е изведен като водещ когнитивен процес т. нар. „непосредствено познание“ (immediate cognition). В (9.4) е описана йерархичната структура на този процес. Изяснена е ролята на *интуицията* в научаването когато оперираме с големи и динамично представени източници на знания като световната мрежа, например. Предложен е метод, базиран на сплайн интерполация за откриване на

¹³ Dimitrova, M. (1996). Compound processes in recall: Some evidence in support of modularity of memory. In B. Kokinov (ed.) Perspectives on Cognitive Science, NBU Series in Cognitive Science, Vol. 2, NBU:Sofia, 209-217

¹⁴ Wagatsuma, H., & Yamaguchi, Y. (2007). Neural dynamics of the cognitive map in the hippocampus. Cognitive Neurodynamics, 1, 119-141, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11571-006-9013-6>

информация (information retrieval) в мрежата, който имитира интуицията на човек в търсене на нови знания. Разгледани са някои възможни приложения за създаване на адаптивни към потребителя интерфейси.

13. Подход за проектиране на хуманоидни роботи, способни да изпълняват професионални роли (публикации 8.14 и 9.5)

В публикация (8.14) е обоснована концепцията за хуманоидните роботи, способни да моделират социални умения и, респективно, да възпроизвеждат професионални роли. Тя е обоснована чрез развитие на теорията на R. Moore¹⁵ за границите на субективната приемливост на хуманоидния робот от страна на човека, общуващ с него. Постулирани са нивата, на които взаимодействието е приемливо – физическо и социално – както и нивото, на което то е неприемливо – психологическо. Предлага се тези нива да се отчитат при проектирането на професионалните роли на хуманоидния робот с цел преодоляване на възможни негативни състояния, предизвикани у човека от взаимодействието с робота.

В публикация (9.5) са проучени факторите *когнитивна мотивация* и *социална мотивация* у учениците когато ролята на учител (по зоология) се изпълнява от хуманоиден робот. Установена е статистически зависимост между социалната ориентация като личностова характеристика и позитивното отношение към роботите, (съответно, между индиферентната социална нагласа и критичното отношение към роботите). Направени са изводи за социализиращата роля на хуманоидните роботи както в обикновеното, така и в специалното образование (респективно – в приобщаващото образование).

14. Подход за проектиране на класната стая на бъдещето с използване на трансформиращи (disruptive) технологии (публикация 8.15)

В публикация (8.15) е предложен нов кибер-физичен подход за анализ на институцията *училище*, предназначена да изпълни дадена „производствена“ мисия, където продуктът е видът знания, усвоени от учениците. Този подход е формулиран като една от трансформиращите технологии на съвременността наравно с изкуствения интелект или „интернет на нещата“. Предлага се създаването на нов тип учебна среда – класна стая – където интелигентни сензори регистрират нов тип индикатори на участието на ученика в учебния процес – поведенчески индикатори на вниманието или разбирането. Предложена е архитектура на умен сензор за вграждане в средата, който регистрира примигванията на детето по време на урок за да предскаже нивото на

¹⁵ Moore, R. K. (2012). A Bayesian Explanation of the ‘Uncanny Valley’ Effect and Related Psychological Phenomena. *Sci. Rep.* 2 (1), 864–865. doi:10.1038/srep00864

концентрация или разсейване на вниманието. Цел на включването на умни сензори е облекчаване на учебния процес от повторения или скучни дейности и същевременно гарантиране на по-добро разбиране и запомняне на учебния материал от всички деца.