

Intelligens és lágyszámítási módszerek a digitális jel- és képfeldolgozásban

Szakmai zárójelentés

OTKA Nyilvántartási szám: T 78576
Témavezető neve: Várkonyiné Kóczy Annamária
A kutatás időtartama: 2009-2014

Bevezetés

Napjainkban a mérnöki problémák megoldásánál elterjedten alkalmazzák a modell alapú megközelítést, mivel ez előnyös lehetőséget nyújt az a priori információ számításokba történő beépítésére és aktív felhasználására. Lineáris rendszerek esetén jól kidolgozott, széles modellezési és megoldási módszer paletta áll rendelkezésre. Ugyanakkor nem-lineáris esetekben a korábban jól bevált klasszikus módszerek sokszor korlátozottan vagy egyáltalán nem alkalmazhatók. E területeken az intelligens - fuzzy, neurális, anytime – módszerek megjelenése hozott komoly áttörést.

A rendszerelméletben az intelligens eljárások – mesterséges intelligencia, lágyszámítási és anytime módszerek - területén bekövetkezett fejlődés hatékony modellezési és számítási technikákat eredményezett. Ezek az eljárások különösképpen alkalmasak összetett, nemlineáris viselkedés leírására és számítására, valamint támogatják a számítógép alapú jelfeldolgozási, diagnosztikai, mérő- és vezérlő alkalmazások megvalósítását.

Napjainkban az integrált és beágyazott alkalmazások mérete gyorsan növekszik. Nagyobb méretű rendszerek esetében az implementáció szempontjából kritikus lehet a rendszer működésének leírásával, számításával kapcsolatos számítási kapacitás igény. Jellemző példák erre az összetett orvosbiológiai, szabályozástechnikai vagy járműbiztonság növelésére irányuló fejlesztő és vezérlő rendszerek, a hozzájuk kapcsolódó gazdasági döntési és számítási, valamint diagnosztikai környezetükkel együtt. A modellezésben a lágyszámítási módszerek, a számítási bonyolultság problémájának leküzdésében az anytime technikák alkalmazása jelenthet kiutat.

Éppen ezért a javasolt kutatás célja olyan új – elsősorban lágyszámítási módszereken, fuzzy, neurális, és anytime technikákon alapuló - modellek és algoritmusok kifejlesztése volt a kép- és jelfeldolgozás, továbbá ezek kiemelt alkalmazási területei, a járműbiztonság növelésére irányuló fejlesztő, analízáló és vezérlő rendszerek, valamint az orvosbiológiai alkalmazások, területén, amelyek az eddig ismerteknél jobb viselkedést mutatnak, a további feldolgozáshoz hatékony támogatást nyújtanak, és a teljes számítási kapacitás-igény rugalmas csökkentését, továbbá a rendszerek és eljárások emberi beavatkozást nem igénylő, automatikus működését teszik lehetővé.

A pályázat megfogalmazásakor a következő komoly nemzetközi érdeklődéssel is kísért konkrét területeken jelöltünk ki célokat:

1. Intelligens jelfeldolgozó algoritmusok és modellek
2. Intelligens képfeldolgozó algoritmusok és modellek
3. Anytime modellek és algoritmusok, neurális hálózat modellek, fuzzy és hibrid rendszerek
4. Összetett információ feldolgozás
5. Orvosbiológiai, gépjármű biztonsági, robotikai és ipari alkalmazási lehetőségek

Az elért eredmények

1. INTELLIGENS JELFELDOLGOZÓ ALGORITMUSOK ÉS MODELLEK

Jelfeldolgozás jellegű feladatokat a mérnöki területeken felmerülő szinte minden probléma esetén szükséges elvégezni. Ezek minősége és gyorsasága általában közvetlenül és nagymértékben kihat a „fő” feladat eredményeinek megbízhatóságára, pontosságára, és rendelkezésre állási sebességére. Éppen ezért kutatásunk során elsősorban a valós időben alkalmazható adaptív jelfeldolgozási modellekre és algoritmusokra, illetve jelek továbbítására (kommunikáció) koncentráltunk.

A következő területeken értünk el eredményeket:

- Megmutattuk a lágyszámítási módszereken alapuló jel és képfeldolgozás előnyeit a klasszikus módszerekkel szemben. Eredményeinket több meghívott előadás keretében ismertettük ([10], [21], [22], [11]), valamint egy folyóiratcikkben [19] és egy szerkesztett könyvben foglaltuk össze ([30]).
- Javasoltunk egy olyan anytime jelkódolási módot ([6]), amely előnyös lehet a kommunikációban. A kódolás nemstacionárius jelek esetén is könnyen adaptálódik a változó jelalakhoz és így alacsony komplexitású jelreprezentációt tesz lehetővé. A módszer anytime módon képes alkalmazkodni a rendelkezésre álló erőforrás (pl. csatorna) kapacitáshoz ([8], [18]).
- Kidolgoztunk egy új adaptív FxLMS szűrőalgoritmus implementációt, amely eredményesen alkalmazható EKG jelek vizsgálatára olyan helyeken is, ahol ezt a fellépő a zajok frekvenciatartománya korábban csak komoly hibával tette lehetővé (pl. pályaudvarok, ahol az európai vasutak hálózati frekvencia zaja az emberi szív működés frekvencia tartományába esik és jelentősen megnehezíti az automatikus kültéri defibrillátorok működését) [60].

2. INTELLIGENS KÉPFELDOLGOZÓ ALGORITMUSOK ÉS MODELLEK

Az intelligens képfeldolgozás illetve ezzel szoros összefüggésben a térbeli objektumok automatizált rekonstrukciója és (emberek) követése az utóbbi időben került a hazai és nemzetközi kutatások középpontjába. Ezt egyrészt a klasszikus módszerek új, intelligens eljárásokkal való ötvözése révén megnyíló új lehetőségek, másrészt az új eredmények széles területen (gépi látás, intelligens tér felügyelet, nem verbális ember-gép kommunikáció, stb.) jelentkező nagy felhasználhatósága indokolja.

A képfeldolgozás területén a következő eredményeket értünk el:

- Továbbfejlesztettük a korábban szintén a vezető kutató által javasolt HDR képjavítási eljárást [5]. Az új módszer statikus és dinamikus képek esetén is alkalmazható. Az algoritmus az egyes képrégiók fuzzy információ mennyiségét becsüli, és ennek alapján választja meg a kép-transzformációt.
- A becslés alapötletéből kiindulva javasoltunk egy fuzzy adatmodellezéssel támogatott gyors, pontos, automatikus információ mennyiség mérő eljárást, amelynek segítségével meghatározható az egyes fényintenzitás tartományok részletgazdagsága (információ mennyisége). Az eljárás segítségével meghatározhatók a HDR képek

- információ gazdag részei és javítható a képminőség. megmutattuk, hogy a módszer kiterjeszhető tetszőleges kép minőségének javítására [78].
- Alacsony számítási igényű, adaptív, ún. „szituációs modelleket” vezettünk be a képfeldolgozás területén. Ezek a modellek a képminőség javítását célozzák, és a feldolgozás körülményeihez és *céljához* alkalmazkodva képesek kiemelni a feldolgozás pillanatnyi szempontjából lényeges információkat, ezáltal egyidejűleg csökkentve a feldolgozás számítási igényét és növelve a feldolgozás pontosságát. Eredményeinket egy könyvfejezetben foglaltuk össze ([35]).
 - Bemutattunk egy új eljárást, amely bőrszín detektálás segítségével képes azonosítani az emberi kezét ([1]).
 - Kifejlesztettünk egy interface-t, amely két kamera képe alapján azonosítja az emberi kéztartást ([2]) és kézmozdulatokat ([1]) [4]. Javaslatot tettünk egy új fuzzy kézmodellre ([15]) és megmutattuk, hogy a modell használata hogyan teheti hibátűrővé a kéztartás és kézmozdulat azonosítást ([42]). Olyan fuzzy neurális hálózat struktúrát dolgoztunk ki, amely valós időben képes feldolgozni a kamera képek információit ([16]).
 - A képfeldolgozás területén elért eredményeink ismertetésére több előadás és kurzus keretében kaptunk felkérést, így az „Anytime rendszerek és alkalmazások” PhD kurzus [54] folytatásaként a témavezető felkérést kapott a Milánói Egyetemtől PhD kurzus tartására a digitális képfeldolgozás lágyszámítási technikákon alapuló új módszereiről [70], valamint a kutatásvezető több kutatáshoz kapcsolódó korábbi és az új eredményeit egy plenáris előadás keretében mutatta be [69].

3. LÁGYSZÁMÍTÁSI MÓDSZEREKEN ALAPULÓ ÚJ MÓDSZEREK, ARCHITEKTÚRÁK ALGORITMUSOK

A lágyszámítási módszerek alkalmazása bizonyíthatóan előnyös, elsősorban azokon a területeken, ahol adaptív és robusztus megoldásokra van szükség, pontatlanság, bizonytalanság, adat és/vagy időhiány léphet fel. Ezért a kutatás elsősorban a fuzzy technikákon, neurális hálózatokon és anytime működtetésen, illetve ezek kombinálásán alapuló algoritmusokra és modellekre irányult.

A területen elért legfontosabb eredményeink:

- A pályázathoz köthető korábbi sikeres könyveink illetve könyvfejezeteink folytatásaként felkérést kaptunk a Springer kiadótól, hogy állítsunk össze egy szerkesztett könyvet ([61]), amely áttekintést ad a legújabb lágyszámítási (elsősorban fuzzy és neurális hálózaton alapuló) módszerekről, architektúrákról és alkalmazásokról. Egy másik Springer könyvben pedig az 5. IEEE Int. Workshop on Soft Computing Applications (SOFA) rendezvény válogatott cikkeiből jelentettük meg összeállítást ([62]).
- Áttekintettük a fuzzy és anytime technikák ötvözésének lehetőségeit, előnyeit és új irányait. Az ebből készült összefoglaló könyvfejezet a Springer kiadónál jelent meg [65].
- A témavezető felkérést kapott az anytime információfeldolgozás tudományterületének state-of-the-art áttekintésére és elért eredményeinek plenáris előadás keretében történő bemutatására [68], valamint a Milánói és az Arad-i Aurel Vaicu Egyetemektől egy-egy PhD kurzus tartására anytime rendszerek és alkalmazások témakörben ([54], [77]). Ezeket a szemináriumokat az IEEE is felvette a Distinguished Lecturer Programjába.
- A lágyszámítási módszereken alapuló modellek anytime működtetése terén kidolgoztuk az általánosított fuzzy-neurális hálók egy új osztályának, a nem singleton kimenettel rendelkező fuzzy közelítésű neurális hálók olyan transzformációját, amely lehetővé teszi az anytime feldolgozást [66].

- Az anytime elvet kiterjesztettük osztályozási modellekre. Olyan új osztályozási modellre tettünk javaslatot, amely jelentősen lerövidíti az osztályozáshoz szükséges időt és lehetővé teszi annak anytime módon történő elvégzését ([29], [28]).
- Új módszert javasoltunk osztályozási feladatokban alkalmazott cirkuláris neurális hálózat modellek tanítására. A kifejlesztett módszer jelentősen csökkentheti a tanításhoz szükséges időt. A cirkuláris fuzzy neurális hálózatokra vonatkozó eredményeinket összefoglaltuk és egy folyóiratcikkben jelentettük meg ([46]). A csökkentett számítási időigényű neurális hálózat tanító eljárás sikerült továbbfejleszteni. Ezeket az eredményeket a [48] konferenciacikkben publikáltuk.
- A módszert általánosítottuk tetszőleges előrecsatolt neurális hálózat modell tanítására ([34]). Vizsgálataink szerint az osztályozási feladatoknál használt tanítópont mintahalmaz előfeldolgozása (megfelelő klaszterezése) nemcsak a tanítási fázist rövidíti le és általában kisebb méretű hálót eredményez, de eredményes tanításhoz vezet nagyon sok olyan esetben is, amikor a szokásos hiba visszaterjesztéses algoritmus sikertelensége miatt nem alkalmazható ([47]).
- A tanító eljárást kiterjesztettük előrecsatolt MLP neurális hálózatokra és megmutattuk, hogy az általunk javasolt eljárás alkalmazásával jelentősen javíthatók az osztályozó NN struktúrák konvergencia tulajdonságai ([56]). Eredményeink ismertetésére több felkérést kaptunk, így plenáris illetve meghívott előadást tartottunk a SOFA2012 ([53]) és CINTI2012 konferenciákon ([57]).
- A neurális hálózatok tanítása terén elért eredményeinket sikerült tovább javítani az előrecsatolt MLP neurális hálózatok tanítása terén, valamint megmutattuk, hogy módszereink nemcsak modelltanításra, hanem modell struktúrabecslésre is alkalmazhatók [76].
- A javasolt eljárást sikeresen adaptáltuk RBF neurális háló modellek kvázi optimális komplexitásának becslésére [72].

4. ÖSSZETETT INFORMÁCIÓ-FELDOLGOZÁS INTELLIGENS TÉRBEN

Az előző pontokban bemutatott eredmények ideális esetben lehetővé teszik olyan összetett információ feldolgozási feladatok elvégzését, mint például intelligens gépek (robotok) kéztartással, kézmozdulattal való irányítása; gépek emberhez való automatikus adaptálódása, stb. A gyakorlatban is megbízhatóan alkalmazható eljárásokhoz azonban további szempontokat is figyelembe kell venni, amik a valós eseteknél óhatatlanul jelenlevő komplexitás, erőforrás-/időhiány, bizonytalanság, torzulás, zaj, stb. problémákból adódnak. Mivel az eljárásokat az esetek döntő többségében valós időben kell elvégezni, így alapvető fontosságú a számítási komplexitás és időigény minél alacsonyabb szinten való tartása.

A területen elért fontosabb eredményeink:

- Megmutattuk, hogy az intelligens tér alkalmas hátrányos helyzetűek életminőségének illetve az általános komfortszínvonal javítására ([32]).
- Az előző eredmények között felsorolt kéztartás és kézmozdulat vezérelt interface intelligens tér alkalmazását javasoltuk süket-némák kommunikációjának támogatására ([3], [27], [13], [12], [14]).
- Az intelligens tér kutatásainkhoz kötődően egy olyan intelligens szobarobotot dolgoztunk ki és valósítottunk meg virtuális körülmények között, amely képes emberi nyelven illetve kézjelekkel kiadott (mondat jellegű) utasításokat értelmezni, végrehajtani, ismétlődés esetén megtanulni, illetve a körülmények ismételt fellépése esetén a végrehajtást automatikusan kezdeményezni ([31]).

- Megkezdjük a szobarobot bizonyos etológiai jellemzőkkel való felruházását, amelynek segítségével a robot mozgás, gesztus és arckifejezés alapján becsüli a szobában tartózkodó személy hangulatát és viselkedésében ehhez alkalmazkodik (például a felkínált/lejátszott zene vagy a megvilágítás jellegén keresztül). Kezdeti eredményeinket egy konferencia cikkben foglaltuk össze ([33]).
- Kidolgoztunk egy könnyen bővíthető és hatékony, a fogalmi gráfok (conceptual graph) tágabb családjába tartozó tudás reprezentációs formát, amely megkönnyíti a robot változó környezethez való adaptálódását, tanulását, illetve változó emberi igényekhez való alkalmazkodását ([55]). Az intelligens tér keretek között működő ember-gép kommunikációval és tudásreprezentációval kapcsolatos eredményeinket rendszereztük, kibővítettük és egy folyóiratcikkben is bemutattuk ([49]).
- Eredményeink ismertetésére több felkérést kaptunk, így a témavezető plenáris előadást tartott az ICCESD konferencián ([71]) valamint meghívták az indiai Rajdhani Engineering College-ba ([67]). Az előadásokat IEEE is felvette a Distinguished Lecturer Programjába.

5. ORVOSBIOLÓGIAI, GÉPJÁRMŰ BIZTONSÁGI, ROBOTIKAI ÉS IPARI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK

Az előző pontokban felsorolt jel-, kép- és összetett információ-feldolgozási, valamint lágyszámítási módszereken alapuló modellezési módszerek és algoritmusok új kutatási irányokat és alkalmazási lehetőségeket nyitottak a mérnöki munka több területén. Jelen projekt keretében a kutatók elsősorban az orvosbiológiai, robotikai és az ipari folyamatok modellezése, vezérlése és diagnosztikája terület lehetőségeivel foglalkoztak. Ebben a körben a fentebb bemutatott alapkutatási eredmények további kutatási lehetőségeket generáltak, melyek közül néhányat a kutatás során sikerült feltárni vagy legalábbis elkezdni.

Az elért eredményeket a következőkben foglaljuk össze:

Orvosbiológia:

- Az intelligens térben egy olyan passzív szűrésen alapuló mesterséges megvilágítási módot dolgoztunk ki, amely - figyelembe véve az emberi szem színfeldolgozási folyamatát is - az RGB színtérben megnöveli az egyes színtonkomponensek távolságát, amelynek eredményeképpen javul az érzékelt színek megkülönböztetési képessége (színlátás), illetve a színélmény (az érzékelt színek élénkebbek, erőteljesebbek lesznek) ([45]).
- A jelfeldolgozási eredményeink között említett új adaptív FxLMS szűrőalgoritmus implementációt javasoltunk kültéri defibrillátorokban való alkalmazásra. A módszer jól használható EKG jelek vizsgálatára olyan helyeken, ahol a fellépő zajok frekvenciatartománya az emberi szív működés frekvencia tartományába esik és ezáltal igen nehézé válik a jel és zaj elkülönítése [60].

Robotika:

- Javasoltunk egy új akadályelkerülő-célközelítő útvonal tervezési módszert autonóm robotok számára ([25]).
- Csökkentett számítási igényű új hibrid navigációs módszert javasoltunk autonóm „beltéri” robotok ütközésmentes mozgásának megvalósítására [52].

Ipari folyamatok modellezése, vezérlése és diagnosztikája:

- Olyan anytime modellezési eljárást javasoltunk, amely alkalmas a modell redukcióra, valamint új információk a redukált modellbe való beépítésére a komplexitás robbanása nélkül ([7]). A modellezési eljárást fuzzy modellekre alkalmaztuk és megmutattuk, hogyan lehet ennek segítségével fuzzy modelleket anytime módon működtetni ([20]).
- Az anytime modelleknek a fuzzy vezérlés területén való alkalmazhatóságát és előnyeit elemeztük és ismertettük ([26]), kiemelt hangsúlyt fektetve a TS fuzzy modellek anytime módú működési lehetőségeire ([23]).
- Egységes keretrendszert javasoltunk a fuzzy és anytime technikák együttes alkalmazására ([24]), és megmutattuk a fuzzy és neurális hálózat alapú anytime modellek alkalmazását erőforráshiány kezelésére ([36]). Megmutattuk, hogy a két technika ötvözése az egyes lágyszámítási módszerek alkalmazási előnyeiben túlmutatóan, további kedvező tulajdonságokra vezet ([50]). A javasolt technikát „nehéz” vezérlési feladatokon (oszcilláló és kaotikus viselkedést mutató rendszerek) is bemutattuk [37].
- Ipari folyamatok modellezésére és vezérlésére új anytime fuzzy ([41]), neurális hálózat ([39]) illetve általánosított fuzzy-neurális hálózat modelleket ([38]) javasoltunk, amelyek
 - o képesek a folyamatos működtetés fenntartására kritikus adat, erőforrás és idő elérési viszonyok között is,
 - o képesek flexibilisen alkalmazkodni a pillanatnyi adat, erőforrás és idő elérési viszonyokhoz, és az adott körülmények közötti közel optimális működést fenntartani.
- Kidolgoztuk a Takagi-Sugeno fuzzy modelleken alapuló anytime rendszerek szituációs irányításra vonatkozó egységes keretrendszerét ([44]).
- A közelítő modellek hibájára vonatkozó felső hibakorlátok meghatározása révén kiterjesztettük az anytime módon működtethető neurális hálózatok körét a nem szingleton kimenettel rendelkező általánosított fuzzy neurális hálózatokra ([51]).
- Bevezettünk egy feketedoboz-modell regressziós eljárást, amely anytime módon képes felépíteni a bemeneti-kimeneti összefüggéseket megvalósító közelítő modellt ([59]).
- A robotokkal kapcsolatos kutatásaink során előtérbe került a hibadiagnosztika és megelőző karbantartás kérdése. E téren kidolgoztunk egy 3D rezgésanimáción alapuló vizsgálati módszert, amely alkalmas rezgő és forgó eszközök, gépek és alkatrészek működés közbeni diagnosztikai vizsgálatára ([58]). A módszer és kifejlesztett eszköz az állapot függő rezgésdiagnosztikai vizsgálat és megelőző karbantartás mellett kutatási, oktatási illetve demonstrációs célokra is kiválóan használható. A hibadiagnosztikai és megelőző karbantartással kapcsolatos módszereinket valamint a rezgésanimáción alapuló diagnosztikai eszközt bevezettük az OE, Mechatronika BSc/MSc oktatásába is és segítségével több hallgató TDK munka keretében végez kutatómunkát, illetve készített díjnyertes TDK dolgozatot.
- Új, lágyszámítási módszereket használó diagnosztikai eljárásokat dolgoztunk ki és mutattunk be a [73] konferenciacikk keretében.
- Megfigyelő elven működő fuzzy és neurális hálózat modell inverzió alapú mérési és vezérlési eljárást javasoltunk [9].
- Eljárást dolgoztunk ki, melyben javasoltuk online tanított neurális hálózat modellek és a robusztus fix pont transzformáció alkalmazásának kombinálását. Ennek segítségével jelentősen csökkenthető a csak részben vagy pontatlanul ismert rendszerek közelítésének hibája, miközben a számítási bonyolultság nem romlik [64]. Az eljárás előnyösen alkalmazható részben ismert vagy pontatlanul modellezett berendezések és rendszerek vezérlésében.
- Megmutattuk, hogy bizonyos esetekben (amikor egy rendszermodell dinamikus paraméterei adott módon lineárisan szeparálhatók) a rendszert vezérlő adaptív inverz dinamikájú controller módosítható úgy, hogy kombinálható legyen robusztus fix pont

transzformációval, amely segítségével a külső zavarok hatásai kompenzálhatók és a működés jelentősen javítható [74]. Az adaptív inverz dinamikájú kontrollerek és a robusztus fix pont transzformáció MIMO rendszerekben történő együttes alkalmazásával kapcsolatos rendszerezett eredményeinket a [75] könyvfejezetben publikáltuk.

- További új kutatási irányként belekezdünk a bizonytalan rendszerek wavelet alapú kontroll stratégiáinak vizsgálatába. Kezdeti eredményeinket egy konferenciacikkben publikáltuk [63].

6. A KITŰZÖTT KUTATÁSHOZ KAPCSOLÓDÓ EGYÉB EREDMÉNYEK

- A kutatás során elért eredményekre alapozva a témavezető létrehozott egy új kutatócsoportot az Óbudai Egyetem Mechatronika és Autótechnika Intézetében, majd sikeres pályázatot nyújtott be az Óbudai Egyetem Csoportos Kutatói Ösztöndíj Pályázat felhívására. Az elnyert támogatásból egy Magyarországon egyedülálló, új Intelligens Tér laboratóriumot hoztunk létre. A felépített laboratórium több új – jelen OTKA pályázatból kinőtt – kutatási irányhoz nyújt háttérrel, melyeken a megalakult kutatócsoport egy 2012-ben nyertes új OTKA pályázat (OTKA K 105846) keretei között dolgozik tovább. Az laboratórium által lehetővé tett, az elmúlt év során kibontakozó új kutatási és oktatási lehetőségeket két konferencia cikkben ismertettük ([40],[43]).
- A kutatás eredményeit beépítettük az Óbudai Egyetem Mechatronika BSc és MSc programjába, valamint ezekre alapozva hallgatói kutatóműhelyeket és TDK kutatásokat indítottunk. A hazai kurzusok mellett több felkérést kaptunk MSc és PhD kurzusok tartására külföldi egyetemeken ([54], [67], [70], [78]).
- A kutatás eredményeképpen javasolt új módszerek és eljárások beépültek a témavezető sikeresen megvédett MTA doktori értekezésébe ([17]). Eredményeink hozzájárultak egy sikeres PhD védéshez is (Várkonyi T.A.: New adaptive methods for Robust Fixed Point Transformations-based control of nonlinear systems, Budapest, 2013).
- Eredményeinket nemzetközi fórumokon: 3 angol nyelvű szerkesztett könyvben, 8 angol nyelvű könyvfejezetben, 10 angol nyelvű folyóiratcikkben, 39 angol és 1 magyar nyelvű konferenciacikkben, 14 angol nyelvű és 2 magyar nyelvű előadásban (illetve szemináriumban) és 1 MTA doktori értekezésben publikáltuk, valamint hozzájárultunk egy további PhD disszertáció sikeres védéséhez. Cikkeinkre eddig 36 független hivatkozást kaptunk.

További fejlesztési lehetőségek

A pályázati munka folytatásaként 2012-ben elindult egy új OTKA pályázat, szintén a témavezető irányítása alatt (K 105846: Intelligent Space, intelligent robot).

2015. február 10.

Várkonyiné Kóczy Annamária