

Szakmai Zárójelentés

Érzékelő-értelmező topografikus számítógépek - természet motiválta architektúrák és elektronikai implementációk
(multidiszciplináris tudományos iskola)
2002 január 1-2005 augusztus 31

A tervezett multidiszciplináris kutatómunka a jelzett időszakban sok új elemmel bővült és az eredeti célkitűzéseken túl ma átfogja a következő tematikai elemeket:

- a celluláris érzékelő hullám-számítógép architektúrák széles körét
- a nanotechnológia, a mikroelektronika (beleértve a MEMS) és az optoelektronika területeit,
- a nano-bio technológia és molekuláris biológia kapcsolódó elemeit,
- a neurobiológiai ("konstrukciók") funkcionális elemzését,
- a multimodális érzékelésen és ennek elemzésén keresztül a szemantikus beágyazást és
- a humán nyelvtechnológia új irányzatait.

A Tudományos Iskola az Multidiszciplináris Doktori Iskola keretében jelenleg mintegy harminc főt számlál. Időközben Ahmed Ayoub, Bálya Dávid, Hidvégi Timót, Iván Kristóf, Petrás István és Török Levente sikerrel megszerezték a Ph.D. fokozatot, ketten kimaradtak és öten közel vannak a házi védéshez.

A Tudományos Iskola tematikájának bővülési iránya elsősorban a a nanotechnológia, a bioinformatika, és a molekuláris biológia felé történt.

Folytatódott az aktív együttműködés a Semmelweis Egyetem, az MTA Kísérleti Orvostudományi, Számítástechnikai és Automatizálási, Műszaki Fizikai és Anyagtudományi és Pszichológiai Kutató Intézetei kapcsolódó csoportjaival és megkezdődött egy kollaboráció az MTA Enzimológiai Kutató Intézetével. Külföldi partnereinkkel is, elsősorban a Kaliforniai Berkeley Egyetemmel, a Notre Dame Egyetemmel, a Leuven-i Katolikus Egyetemmel, a Torinói Műszaki Egyetemmel, a Müncheni Műszaki Egyetemmel, a Catania-i Egyetemmel, a Krakói Jagello Egyetemmel és az Imperial College-al és a taivani ChiaoTung Egyetemmel voltak a legaktívabbak a kapcsolataink.

A Főbb kutatási-fejlesztési területeken az alábbi fontosabb eredmények születtek

Biológia inspirálta és neuromorf modellek, érzékelés és algoritmusok – Info-Bionika I

A témakör, melyet a kollaboráló neurobiológiai kutatócsoportokkal végeztünk, beleértve a külföldi partnereket is, az érzékelés szinte minden területén dolgoztunk és értünk el fontos eredményeket. A modellek jórésze neuromorf, ami azért is fontos, mert így a topografikus érzékelők a celluláris topografikus mikroprocesszorainkon egyszerűen implementálható.

Az eredmények közül kiemelkedik a látás retinotopikus része, annak is a legújabb neurobiológiai kutatási eredményekhez való kapcsolódása (Berkeley, Harvard).

- Látás

A látás terén a legjelentősebb eredmények a retina sokcsatornás működésének sokrétegű CNN modellezéséhez fűződnek. A csatornánkénti többrétegű CNN modellek szimulációja jól visszaadta az eredeti dolgozat neurobiológiai mérési eredményeit. Ezek alapján sikerült modellt találni a szakkádikus gátlásra is. Ezek a modellek sok egyéb, később bemutatott eredmény alapjául is szolgáltak.

A tompalátás elemi jelenségeinek tanulmányozása, a korai felismerés alapproblémáinak elemzése és megoldása.

- Hallás

A cochlea modellezésben néhány effektust finomabban sikerült modellezni és ennek alapján elindult egy munka a sok tucat érintkezős halló protéziseihez alkalmazható előprocesszálas megoldására.

A magánhangzók felismerése a cochlea kimenetből Hough transzformáció útján.

Adott térbeli halláseseemény irányának azonosítására dolgoztunk ki algoritmust, amelyben a zaj szerepe pozitív.

- Tapintás

A tapintás neuromorf, négycsatornás modelljének megértése alapján receptív mező kombinációkkal modellezzük az alapvető fogási szituációkat. Az ezeket implementáló MEMS-ekkel a fogási eseményteret klasszifikáljuk.

Tanulmányozva a rugalmas bőr szerepét, a rugalmas illetve elasztikus borítás inverz problémájára sikerült egyszerű modellt adni (azaz a diszkrét pontokban mért erőkomponensekből az eredeti nyomáserőt rekonstruálni).

- Multimodális érzékelés, fúzió és navigáció

A multispektrális vizuális érzékelés fúziójára végeztünk kísérleteket és dolgoztunk ki algoritmusokat. A nappali és a sötétbeli látás spektrum szintézisével sikerült egyik módon sem látható jelenségeket detektálni.

Keresztmodális kortikális kísérletekben vizuális és szomatoszenzoros modalitások esetén patkányban és humán kísérletekben sikerült új effektusokat kimutatni, beleértve a balkezesség hatását.

- Mozgatás

Elkezdtük a gerincsérült betegek elektronikus úton történő lábmozgatásának kísérleti tanulmányozását, illetve a mozgatás elemzés kísérleti módszereinek elemzését.

- Figyelem, memória és plaszticitás

A sokcsatornás retina modellre építve sikerült algoritmikusan megoldani a nem akaratlagos vizuális feltűnőség figyelmi térképének generálását, amelynek kísérleti ellenőrzésére 2005 végére sikerült egy új berendezéssel egy ellenőrzési metodikát kidolgozni. Ez egy humán vizsgálat.

- Neuromorf modell könyvtár

Sok éves munkával elkészült és publikálásra került egy Receptív Mező Atlasz, amely főleg a látás területén tucatnyi funkcióhoz rendel CNN modellel jellemzett receptív mező organizációt

- Biometrikus jellemzők és azonosítás

A jellegzetes emberi járás felismerésére készültek heurisztikus képfeldolgozási modellek

- Immunválasz inspirálta modellek és algoritmusok

Az immunválasz tanulmányozásával sikerült egy új algoritmikus keretet adni egy téridőbeli mesterséges immunválasz mechanizmusra (ennek alkalmazását l. később)

Nanotechnológia, molekuláris biológia és dinamika, optika - modellezés, érzékelés és bio-interfészek – Info-Bionika II

- Nanoelektronika, nanomagnetika és nanooptika

Az *elektronikai és fotonikai* alkalmazásokban a kizárólag elektromágneses kölcsönhatásokkal (tehát nem vezetékekkel, huzalokkal) csatolt nano-részecskékből (ezek lehetnek molekulák, nano-mágnesek, vagy fém nano-részecskék) vizsgáltuk, hogy milyen áramkörök valósíthatók meg. A kérdés az volt, hogy

- (i) molekulák,
- (ii) nano-mágnesek, valamint
- (iii) jól vezető fém-nano-részecskék (metal-dot-ok, nanoantennák)

síkbeli sejt-struktúrái milyen elektronikus áramköri feladatokat láthatnak el, azaz melyek a nano-áramkörök megvalósíthatóságának feltételei és korlátai.

Vizsgálataink szerint, melyeket a University of Notre Dame Center for Nano Science and Technology (ND-CNST) laboratóriummal együttműködve végeztünk, nincs elvi korlátja annak, hogy

- (i) Coulomb erővel csatolt molekulákból bármely digitális rendszerfunkciót megvalósítsunk.

Azt is megmutattuk, hogy

- (ii) nano-mágnesekből mágneses térrel történő csatolással is felépíthetők a digitális rendszerek

Sikeresen modelleztünk egyes plasmon rezonancia jelenségeket, és vizsgáltuk

- (iii) jól vezető fém-nano-részecskék (metal-dot-ok, nanoantennák) kétdimenziós cella struktúráinak áramköri tulajdonságait

A nano antennák területén sok sikeres munka készült

- a nano antennák és antenna rendszerek tervezésére, szimulációjára és funkcionális ellenőrzésére,
- a nano antennák érzékenységének növelésére fém-szigetelő-fém-szigetelő-fém struktúrákban, és
- a több hullámhosszú szeparált érzékelés pontosságának növelésére.

- Biomolekuláris dinamika és protein folding

Ezen a területen az alapvető dinamikai jelenségek modellezésének alapjaival foglalkoztunk

- Biológiai képkalkotó eszközök

Megkezdődött a nano-bio-képkalkotás elemzése, különös tekintettel az MRI képkalkotásra.

- Bioinformatika

Bioinformatikai módszertan tesztelése support vector machine és rejtett Markov modelles eljárásokkal.

Megkezdődtek a három-dimenziós fehérje szerkezet kutatási munkák és a kapcsolatos szimulációs programok alkalmazásai.

- Optikai érzékelők, számítógépek és bio-optikai eszközök

A programozható Optikai CNN Analogikai Computer (POAC) számára készült CNN templát alapfunkciók könyvtára és optikai tesztelése, valamint egy adatbiztonsági egyszerűsített konstrukció

- Bionikus interfészek konstrukciója és mérése, bio-kompatibilitás

A sok-jel elvezetéses interfészek (rajzszög-elektrodák) alkalmazásához megindult a nem-topografikus események felismerésére szolgáló algoritmusok tervezése.

- Labor-egy-chip-en és gyógyszeradagoló eszközök, bio-MEMS-ek.

Nanogél membránok tesztelésére alkalmas módszer kidolgozása és e membránok funkciójának tanulmányozása bio-MEMS gyógyszeradagoló chip-ekben. Megindult a beépíthető gyógyszeradagolók megvalósíthatósági elemzése, elsősorban epilepsziás operált betegek számára.

Celluláris Hullám Számítógépek és a kapcsolódó hardver-szoftver technológia alapjai

- Képfolyamokon definiált celluláris hullám számítógépek alapjai – komplexitás és tér-időbeli, analóg-bináris hullám-logika

Ebben az időszakban is sok új algoritmikus elem került kidolgozásra. Ezek közül kiemeljük az aktív kontúr detekciót, a szint-halmaz alapú CNN algoritmust, a hisztogram kiegyenlítő, az optikai-folyam számító és a lokálisan adaptív érzékelő hangoló CNN algoritmusokat.

A többretegű hullám számítógépek stabilitása és sokféle módus együtt megjelenése terén is lényeges eredmények születtek.

Fontos eredmény volt a celluláris hullám számítógépek elvi alapjait tisztázó algoritmikus képességek és korlátok elemzése, a parciális differenciálegyenletekkel leirt fizikai rendszerek néhány nehéz feladatának hatékony megoldása (perkoláció), illetve a valódi téridőbeli véletlen képfolyamok generálása.

- A celluláris hullám számítógépek fizikai megvalósításai topografikus processzor tömb architektúrákkal, kevert architektúrák és érzékelő számítógépek

A fizikai implementáció terén ebben az időszakban meghatározó új eredmény volt a Bi-i kamera számítógéppel megoldott sok feladat. A digitálisan emulált CNN Univerzális gépnek (XENON) mind cellánkénti, mind egy tömbbeli optikai érzékelőkkel ellátott architektúráit megterveztük.

Fontos előrehaladást jelentett a hiper-pontosság neuromorf elvének inspirációjára egy olyan időkülönbség mérő architektúra tervezése, amely gyorsabb a standard eljárásoknál..

A valódi téridőbeli véletlen képfolyamok generálását sikerrel implementáltuk az ACE 16k jelű Celluláris Vizuális Mikroprocesszor chip-en..

- Szoftver keretrendszerek és szoftver könyvtárak sok-ezer processzoros számítógépekben
A szoftver keretmegoldások közül kiemeljük a valós idejű retina csatornák implementálását A Bi-i kamera számítógépen és megkezdődtek az FPGA alapú implementációk.

Mikro- elektronikai rendszerek és érzékelő eszközök – tervezés és mérés

- Mély-szubmikron digitális, analóg és kevert módusú VLSI tervezés és mérés:

A XENON nevű emulált digitális CNN Univerzális gép típusú febt jelzett két architektúrát 0.18 és 0.25 mikronos chipeken megterveztük és megértük.

Egy robusztus Chua-áramkör tervezése és a fent jelzett hiper-pontosságú elven működő 0.18 as technológiájú chip tervezése, bemérése (29 ps-os felbontás) is megtörtént.

- FPGA tervezés és mérés: a CNN alapfunkciók megvalósítása FPGA-n
- MEMS tervezés és mérés: a nyomáselemenként (taxel) 3 komponenst mérő 2x2 –es MEMS integrálása 4x4 es tömbbe és a hozzá tartozó mérőrendszer kidolgozása.

- Érzékelő eszközök: a nyomásmérőhöz multiplexeres elektronika áramköri és layout tervezése a 8x8 tapintóelemes chip-hez.

Humán nyelvtechnológiák és mesterséges értés

- Humán nyelvtechnológiák

Felügyelt gépi tanulás referencia szöveg korpuszokban és kontextusok szövegeinek statisztikai elemzése

Nyelvi hasonlóságvizsgálat implementálása és mondatok részekre tördelése szövegelemzéshez

Hatékony eljárás különböző nyelvű frázisok hasonlóság vizsgálatára

- Mesterséges nyelvek

Megkezdődtek az adatok, képek, videók, szövegek és táblázatok együttesét tartalmazó adatbázisok nyelveinek és keretrendszereinek tervezési munkái, elsősorban orvosi diagnosztikai környezetben.

- Szemantikus beágyazás érzékelők útján történő mesterséges értéshez

E most kibontakozó területen sikeresen adtunk modellt arra, hogyan lehet egy adott természetes nyelv kézírását elemezni és felismerni néhány geometriai jellemzővel a nyelv szemantikájának és nagy szövegtörzseinek elemzésére támaszkodva, anélkül, hogy felismernénk az egyes betűket.

Távjelenlét és multimédia

- Mobil platformok és multimodális érzékelő mobil hálózatok

Megkezdődött az ad-hoc érzékelő mobil hálózatok kísérleti keretének és szoftver fejlesztő rendszereinek kiépítése

- Audio és video reprezentáció és algoritmusok

Video

A sokkamerás figyelőrendszerek, a videó esemény felismerés területén több értékes algoritmikus eredmény született. Ezek közül kiemeljük az előtér-háttér megkülönböztetését, a szimmetria tengelyek felismerését, statisztikus mozgásfelismerést több kamerával, stb. Megkezdődött a Kar épületében és környékén egy biztonsági figyelőrendszer kiépítése.

Érzékelő robotika és navigáció

- Multimodális érzékelő tömbök kimeneteinek fúziója

A már fentebb említett multi-spektrális fúziós alapalgoritmusok implementációs kísérletei mellett kiemeljük az újabb kísérleteket a látás és a tapintás kombinációjára, amely egy megfogó robot finom vezérlését lesz hivatva közvetíteni.

- Proaktív és adaptív érzékelés-mozgatás

Sok-célpontos követésre hatékony eredeti algoritmus készült, amely ötvözi a celluláris vizuális mikroprocesszor és az egyetlen nagyobb teljesítményű processzor (DSP) előnyeit.

- Navigáció

Robotautó navigációja kamerás, ultrahangos és infravörös érzékelők kombinálásával

Szoftvertchnológia és digitális számítógép algoritmusok

- Új szoftvertechnológiai platformok és programozási metodikák
- Kevert tartalmú adatbázisok

A már említett, az adatok, képek, videók, szövegek és táblázatok együttesét tartalmazó adatbázisok új feladatokat jelentenek. Ennek konzisztencia vizsgálatai kezdődtek meg.

- Biztonsági kérdések internet és kevert kommunikációs rendszerekben

Alkalmazási rendszerek

Orvosi diagnosztikai és rehabilitációs alkalmazások

Ezen alkalmazások keretében a beszámolási időszakban a következő sikeres munkák folytak:

- Passzív magzati szívhang-elemző készülék továbbfejlesztése komplex jelfeldolgozó algoritmusokkal, alacsony jel/zaj viszony mellett.
- Siketek mobiltelefonja, melynek képernyőjén egy beszélő fej és egy kézjelekkel reprezentáló kép is van.
- Bionikus szemüveg: megvalósíthatósági elemzés (oothoni, irodai és közlekedési szituációban)
- Epilepszia előrejelzés és monitorozás: a teljes rendszer részeinek azonosítása, egyes részfeladatok kitűzése, elemzése
- Bioinformatika: az alapvető szoftverek kiválasztása és elemzése
- Orvosi képalkotó eljárások kiértékelése, diagnosztika:
 - Ultrahang, echókardiográfia : 2- és 3-dimenziós echókardiogram elemzés és nagyobb adatbankok létrehozása:
 - fMRI : alapkísérletekre felkészülés (a berendezés installálása e napokban történik)
- Tompalátás diagnosztika és rehabilitáció: mind a korai felismeréshez, mind a későbbi terápiához a számítógéppel összekötött szemmozgás vizsgáló berendezés rendszere elkészült.