

**Tapintásérzékelés és
Analogikai Algoritmusok**

Tézisfüzet a Ph.D. disszertációhoz

Kis Attila

Témavezető:
Kovács Ferenc
MTA Doktora

Konzulens:
Szolgay Péter
MTA Doktora



Pázmány Péter Katolikus Egyetem
Információs Technológiai Kar
Multidiszciplináris Műszaki Tudományok Doktori Iskola

Budapest, 2007

Bevezetés

A gerincesek világában nagyon változatos végtagokkal, és ennek megfelelő fogási módokkal találkozhatunk. Ezek a fogástípusok az elvégzendő feladatoknak megfelelően alakulnak. A főemlősök első végtagjaik a legplasztikusabbak, képesek különböző méretű és formájú tárgyakat megragadni, összetett feladatokat elvégezni, váltakozó feladatoknak megfelelő fogásmódokat cserélni. Ez részben a kezük fizikai felépítésének (több, szembenálló ujj, sok szabadságfokkal), részben pedig összetett, fejlett kontrollálási képességeiknek köszönhetik.

A taktilis érzékelés előnyeit és szükségességét számos laboratóriumi kísérlet igazolta, ezek közül megemlíthetők azok, amelyek kombinálják a látás és tapintás-érzékelést, a tárgyak fogásával, mozgatásával kapcsolatosak, valamint ahol ismeretlen tárgyak, környezet felderítése a cél.

Ma már természetes hogy a robotok képesek hasznos és ismétlődő feladatokat elvégezni ismert, kontrolált ipari környezetben, de ahhoz, hogy ismeretlen környezetben is önálló cselekvésre legyenek képesek, szükségük van arra, hogy érzékelhessék a változó és strukturálatlan külvilágot.

Az esetek többségében a látás elegendő kezdeti információt szolgáltat, ahhoz hogy a taktilis érzékelés pontos, megbízható legyen. Úgy tűnik, hogy a látás segít fókuszálni, és a taktilis információ gyűjtése, valamint feldolgozása csak a fókuszált, kiválasztott részekben szükséges. A taktilis információ a tartott tárgy

orientációjának pontosításában, valamint a tárgy és ujjak között ható szorítóerők optimalizációjában segíthet.

Az élővilágban megfigyelt és leírt viselkedés minták alapján egy proaktív – adaptív, multi-modális érzékelésen alapuló környezet-felderítési, felismerési elv a vizsgálataim tárgya. Egy ismeretlen helyzetben, ismeretlen tárgyról először látással szerzünk általános információkat, egy bizonyos pont figyelemfelkeltése esetén tapintással juthatunk pontosabb információhoz, oly módon hogy a tapintó információ kiegészíti a látás által nyert információt. Az előzetes információk beszerzése után (proaktív ciklus) már gyorsabbak (maga) biztosabbak a mozdulatok, a cselekedetek. A művelet elvégzése során már csak kisebb korrigálásokra (adaptív) szorul a mozdulatsor ahhoz, hogy tökéletes legyen az eredmény. A két fajta modalitás egymást kiegészítő fúziójával olyan információra tehetünk szert, amely külön-külön nem lenne lehetséges. Figyelem felhívás, figyelem fókuszálás lényeges folyamatok a környezetünk megismerése során.

A kísérleti környezet lényeges alkotóeleme az érzékelő-tömbök. A kísérletek kezdeti szakaszában, kereskedelmi forgalomban is található kapacitív nyomásérzékelő tömböket használtam. A tömb mérete és a taktilis pontok távolsága megegyezik az emberi ujjbegyben levő mechanó-receptorok számával és sűrűségével, de csak a felületre normális nyomás érzékelik. E kísérletek eredményeit felhasználva több magyarországi kutatócsoporttal közösen (MTA-MFA, MTA-SZATKI, Jedlik) fejlesztettünk ki egy piezorezisztív elven működő nyomásérzékelő-tömböt. Az egyik legfontosabb

különbség a korább kifejlesztett taktilis érzékelőkhöz viszonyítva abban rejlik, hogy a bőr felületéhez hasonlóan képes az erők normál- valamint nyíró-komponenseinek felbontására.

A robotkezek által tartott tárgyak nagyon változatos, hirtelen erőhatásoknak vannak kitéve. Ezekre környezeti hatásokra a rendszernek megfelelően gyorsan kell reagálnia. Az emberi viselkedésből kiindulva több, reflexhez hasonló, reakció-típust különböztettem meg. Kísérletek, megfigyelések bizonyítják, hogy a hirtelen eseményekre adott válasz egy előre rögzült mozdulatsor aktiválása. Ilyenkor a gyorsaság „fontosabb” a pontosságnál.

Vizsgálati módszerek

Olyan kísérleti környezetet hoztam létre, ahol a taktilis érzékelés, a processzálás és a beavatkozás együttesen megvalósítható egy hardver-szoftver platformon.

A kutatások és kísérletek során kialakított kísérleti környezetekhez többirányú, interdiszciplináris ismereteket, eredményeket dolgoztam fel. Az tapintó-szenzorokhoz kapcsolódóan a kapacitív és piezorezisztív nyomásérzékelő tömbök irodalmát használtam fel, mikroelektronikai és MEMS technológiai ismereteket használtam.

Az érzékelőket, öt szabadság-fokú, kétujjú robotkarra szerelve végeztük az alapvető kísérleteket. A robotkar irányításához felhasználtam direkt- és inverz-kinematikai (Denavit-Hartenberg reprezentáció), erő, nyomaték-számítási módszereket, összefüggéseket. A modellek kialakításához felhasználtam a merev tárgyakra ható rotációs és translációs művelteket, homogén

transzformációkat, lineáris algebra mátrix-műveletekkel foglalkozó fejezeteit.

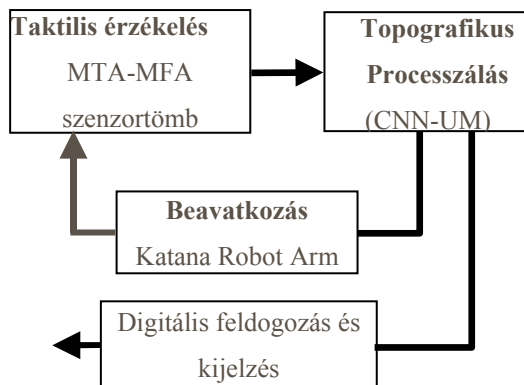
A biológiai modellezésben elsősorban a neurológiai megfigyelések és mérések adataira támaszkodtam. A tervezett és felhasznált CNN template-eket és analogikai algoritmusokat szoftver szimulátorokon (AladdinPro), valamint VLSI CNN-UM chipet tartalmazó rendszeren (AceBox – ACE4K, BII ACE16K vizuális CNN mikroprocesszorokkal) teszteltem. Megadtam a kidolgozott algoritmikus megoldások magas szintű, implementáció független, „CNN nyelvű” leírásait (UMF, Alpha) amellyel az eredmények különböző hardver platformokon is felhasználhatók. Az eljárások tervezésében törekedtem arra, hogy a jelenlegi CNN chipen futtathatóak legyenek az algoritmusok, így a problémamegoldásban közvetlen szomszédságú interakciókra épülő template osztályokat terveztem, illetve használtam fel. Igyekeztem úgy tervezni a módszereket, hogy csak lineáris interakciókat használjak a nemlineáris rendszerben, mert ezek a működő prototípus VLSI chipen rendelkezésre álltak, vagy ha nem, akkor software-s úton megvalósítottam.

A megfogási algoritmusokat, modelleket nemzetközileg elfogadott jellegzetes eseményeken és feladatokon teszteltem.

Új tudományos eredmények

I. Téziscsoport: Valós idejű analogikai CNN algoritmus családot dolgoztam ki jellegzetes tapintási események felismerésére CNN-UM architektúrában.

Kidolgoztam egy új proaktív-adaptív, valós idejű robotkéz-vezérlési rendszert. A rendszer blokksémáját az alábbi ábra mutatja be.



Kidolgoztam egy analogikai algoritmus családot, amely, a 3D-s piezorezisztív nyomásérzékelő tömbök által szolgáltatott adatok alapján információt szolgáltat egy megfogott, ismeretlen tárgy paramétereiről, felületi jellemzőiről, valamint a tárgy felületén történő jellegzetes tapintási eseményekről. Ezek az események a 3D irányba való húzás, a polár-koordináták menti forgatás, a megcsúszás, valamint ezek kombinációja. Ezeket az ugynevezett tapintási eseményeket az algoritmus család felismeri és osztályozza.

A rendszert a tér és az értékbeli pontosság, valamint a reakcióidő jellemezi. A munka során az MTA-MFA taktilis szenzortömböt, valamint a Katana típusú robotkart használtam fel.

I.1. Kidolgoztam egy olyan proaktív-adaptív analogikai algoritmust, amely a robot kezét ismeretlen felületű és súlyú tárgyak megfogására és tartására teszi alkalmassá.

Az algoritmusnak két fő részből áll:

1) Információszerzés: A tárgy felületi jellemzőinek, nevezetesen csúszó- és tapadó súrlódási együtthatónak a meghatározása, ami az úgynevezett proaktív ciklus.

2) A tárgy megtartása: ismerve a súrlódási együtthatókat, a tárgyra ható erőket adaptív módon követve a rendszer a robotkezet, oly módon szabályozza, hogy a tárgyra folyamatosan a tartáshoz szükséges legkisebb szorítóerőt fejt ki.

I.2. Megadtam egy olyan algoritmus-családot amely alkalmas a húzó erők és forgató nyomatékok gyors, hatékony felismerésére és osztályozására.

Kidolgoztam egy olyan analogikai algoritmus családot, amely felismeri és osztályozza a kétujjú robotkar által tartott tárgy felületén történő tapintási eseményeket. Az élővilágban megfigyelhető reflex-reakcióhoz hasonlóan, a rendszer a bekövetkezett esemény jellegére vonatkozóan egy gyors, az eseményeket megkülönböztető választ ad. Létrehoztam egy template osztályt, amely a Descartes-féle koordináták: x , y , z mentén ható húzóerőket, a gömbi (polár) koordináták: r , φ , θ körül ható forgató nyomatékokat, valamint ezek

kombinációit ismeri fel. A kidolgozott algoritmusok futásideje független a rendszernek az érzékelésre használt szenzortömbjének méretétől, feltételezve, hogy az érzékelők száma kevesebb, mint a topografikus processzáásra alkalmazott CNN-UM processzor elemeinek száma. Ellenkező esetben a rendszer ablakozással, szekvenciálisan dolgozza fel az érzékelő - tömb jeleit. [J1-J2-C1-C2]

II. Téziscsoport: Biológiai motiváltságú minőségbiztosítási eljárás ipari folyamatokban: optikai és taktilis információ egymást kiegészítő módon való feldolgozása

Eljárást dolgoztam ki, amely a tárgy előállításakor a felület minőségének-biztosítása során az anyag felszínének tulajdonságait ellenőrzi olyan módon, hogy a vizuális megfigyelés jelöli ki azt a területet, amelyen a látás és tapintás, mint a két érzékelő modalitás, fúzióját alkalmazzuk, és ennek eredményeképp biztosabb detektálási eredményeket érünk el. A kidolgozott analogikai algoritmus futási ideje arányos a vizsgált felület lineáris méretével, és alkalmas sík, lapos textíliákon a szálszakadások, lyukak és csomók detektálására. [C3-C4-C5-C6]

Az eredmények felhasználási területe

Az elért eredmények fontos alkalmazási területe a robotika. Átkonfigurálható robotkezek (Barret-Hand) esetében az ideális ujjkonfiguráció kiválasztása fontos lépés. A különböző nagyságú és alakú tárgyak megfogásához a robotkéz ujjainak más és más elrendezése az ideális. Egy kéz által tartott tárgyra irányuló külső hatás felismerésére és az erre történő gyors reakció egy konkrét igény az ismeretlen környezetben működő robotoknál. Az 1. téziscsoportban bemutatott módszer lehetővé teszi, hogy a robot gyorsan fel tudja ismerni az ujjai között tartott tárgyra ható húzó és/vagy csavaró erőket, így érdemben helyes reakciót valósítva meg. Például a Katana kétujjú robotkar által tartott kémcsőre ható erők és nyomatékok felismerése és osztályozása.

Abban az esetben, amikor a tartott tárgy törékeny, nagyon fontos a szorítóerő pontos szabályozása, a megtartáshoz szükséges és elégséges erő megtalálása és betartása. Ilyen lehet vegyi, biológiai stb. laboratóriumokban a kémcsövek mozgatása.

Az eljárás alkalmazható minden olyan esetben, amikor két kiterjedt, egymásra fekvő felület közötti erőket és nyomatékokat kívánjuk követni, és a jellegzetes eseményeket felismerni. Nagy felületek fedhetők le a 3D-s nyomásérzékelő tömbökkel pl. repülőgépek szárnyaiba, autók karosszériáiba helyezhetők el, vagy szeizmikus tevékenységek előrejelzőiként sziklatömbök hasadékaiba elhelyezve. Az orvosi eljárások során azokban az esetekben, amikor a diagnózist végző orvos vagy a műtétet vezető sebész kézzel nem fér a kritikus területekhez, életbevágóan fontos a precíz információszerzés.

Katéterek, MIS (Minimal Invasive Surgery) esetében használt eszközök tapintószensorokkal való ellátására valós, sürges igény fogalmazódott meg az orvosok körében.

Konkrét gyakorlati megvalósításként egy kétujjú robotkar által tartott tárgyra ható erőket érzékelő algoritmus került bemutatásra. Az analogikai algoritmus a két darab 2×2 -es érzékelőkön levő feszültségváltozásokból kiszámolja az érintkezési felületeken ható háromdimenziós erőket. Ezek az erők alapján a jellegzetes tapintási eseményeket felismeri és osztályozza. Az érzékelők kiolvasási sebessége 10ms (32 érzékelő), az analogikai algoritmus futási ideje 1ms.

A XXI. Század elejére a legtöbb ipari munkafolyamat automatizálva van. Nagyon szigorú előírások szabályozzák az előállított termékek minőségét. A termékminőség egy adott szinten tartására gazdaságosan csak automatizált ipari folyamatokkal valósítható meg. A 3. tézisben megfogalmazott eljárás alkalmazható a textilgyártási folyamat részeként, a szöveten észleli és osztályozza az olyan jellegzetes anyaghibákat, mint pl. lyuk, szálszakadás vagy csomó. Képes megkülönböztetni az anyag elszíneződéséből eredő hibákat (pl. festék, olajfolt) az anyagban levő szövési hibáktól.

A kísérleti rendszerben egy 50×50 mm felületű, 22×22 érzékelő pontból álló, mérőleges nyomást érzékelő, tapintó tömböt használtam. A anyag sebessége 5m/s. Az analogikai algoritmus futási ideje 2-3 ms.

	Csomó	Lyuk	Szakadás
T (%)	93	85	91
FT (%)	7	15	9
HR (%)	5	8	3

Az algoritmus hiba-detektálási értékei:

T-talált, FT-féरे talált, HR-hamis riasztás

Köszönetnyilvánítás

Először is szeretném megköszönni Roska Tamás professzor úrnak az állandó segítséget és biztatást, törhetetlen lelkesedését, és atyai tanácsait.

Köszönöm Kovács Ferenc professzor úrnak a hasznos tudományos segítséget, az értékes szakmai meglátásait.

Megköszönöm Szolgay Péter professzor úrnak, hogy védőszárnyai alá vett, gyakorlati téren mindig mellettem állt és mutatta a helyes irányt.

Hálás vagyok Fodroczi Zoltánnak és Wagner Róbertnek doktorandus társaimnak az értékes szakmai beszélgetésekért, bátorításokért és segítségekért.

Megköszönöm a fiatalabb és idősebb kollegáimnak a sok hasznos tanácsot: Jónás Péter, Mozsáry András, Gaurav Gandhi, Matyi Gábor, Hodász Gábor, Iván Kristóf. Az ifjabbaknak kitartást és erőt kívánok a doktorandusi éveikhez.

Külön köszönet illeti a ‘tapintó’ csoportot: Vásárhelyi Gábor, Ádám Mária, Vázsonyi Éva, Mohácsy Tibor, Bársony István és Dücső Csaba.

A munkám nagy részét a következő pályázatok támogatták: “Telesense Project” NKFP 2001/2/035 és OTKA no.T47002 és TS040858. Köszönet az MTA-SzTAKI-nak a támogatásért.

És végül de nem utolsósorban szeretném megköszönni családomnak Évának és Ádámnak a kitartást, szüleimnek Ildikónak és Andrásnak a példás nevelést valamint nővéremnek Annamáriának hogy mindig mellettem állt és támogatott.

Publikációk

Folyóiratokban

- [1] **Attila Kis**, Ferenc Kovács & Péter Szolgay: “3D Tactile Sensor Array Processed by CNN-UM: A Fast Method for Detecting and Identifying Slippage and Twisting Motion”, *International Journal on Circuit Theory and Application (CTA)*, 2006; 34: pp. 517-531
- [2] Gábor Vásárhelyi, Mária Ádám, Éva Vázsonyi, Zsolt Vizváry, **Attila Kis**, István Bársony & Csaba Dücső “Characterization of an Integrable Single - Crystalline 3D Tactile Sensor”, *IEEE Sensors Journal*, 2006, vol.6, nr.4, pp. 928-934

Konferenciákon

- [1] **Attila Kis**, Ferenc Kovács & Péter Szolgay: „Grasp Planning Based on Fingertip Contact Forces and Torques”, *Proceedings of the Eurohaptics International Conference EH 06, July 3-6, 2006*, Paris, France, pp. 455-459
- [2] **Attila Kis**, Ferenc Kovács & Péter Szolgay: “Hardware and Software Environment for a Tactile Sensor Array”, *Euroensors XIX*, Barcelona September, 2005
- [3] **Attila Kis**, Ferenc Kovács & Péter Szolgay: “*Analogic CNN Algorithms for Textile Quality Control Based on Optical and Tactile Sensory Inputs*”, Budapest July, CNNA, 2004

-
- [4] **Attila Kis**, Nicholas Bottka, Ferenc Kovács & Péter Szolgay: “Elementary CNN Algorithms and an Experimental System for Typical Tactile Actions”, *IEEE European Conference on Circuit Theory and Design ECCTD03*, Krakow September, 2003
- [5] **Attila Kis**, Gábor Vásárhelyi, Antalné Ádám, Péter Szolgay: “Tactile sensing: sensors and algorithms”, *Hungarian Neuroscientists Society MITT05*, Pécs January, 2005; pp. 129
- [6] Bárony István, Dücső Csaba, **Kis Attila**, Négyessy László, Kovács Ferenc, Szolgay Péter: “Taktilis érzékelők, érzékelés és processzálás”, *A Magyar Infobionikai Kutatóközpont Bemutakozása, Magyar Tudományos Akadémia*, Budapest Május, 2005

Szabadalmak:

- [1] **Kis Attila**, Vásárhelyi Gábor, Szolgay Péter, Kovács Ferenc: "Eljárás tapintásérzékelők csúszásának és csavarodásának érzékelésére" Magyar szabadalmi bejelentés, P 07 00080 (bejelentés dátuma: 24/01/2007)
- [2] Vásárhelyi Gábor, **Kis Attila**, Dücső Csaba, Fodor Béla: „Rugalmas borítás tapintásérzékelőkhöz és rugalmas borítással ellátott tapintásérzékelő elrendezés,” Magyar szabadalmi bejelentés, P0600892 (bejelentés dátuma: 30/11/2006)