

**Alacsonyfelbontású infra szenzortömbön alapuló 3D
objektum és nyomás rekonstrukció valamint moduláris
oszcillátortömbök tervezése és megvalósítása**



Ph.D. disszertáció tézisei

Tar Ákos

Témavezető:
Dr. Cserey György

Pázmány Péter Katolikus Egyetem
Információs Technológiai Kar

Budapest, 2011



1. Bevezetés, kitűzött feladatok

A természetben is jól megfigyelhető folyamat a kiemelkedés, amikor egyszerű szabályokat követő egyedek rendszerszintű együttműködése újfajta tulajdonságok vagy viselkedési módozatok kialakulását eredményezik (pl: sejtek szervekké szerveződése). A mérnöki életben is érdekes ezen jelenségek felhasználása, ahol a rendszer elemeinek interakcióját felhasználva javíthatunk a már meglévő tulajdonságokon vagy újakat jelenhetnek meg (pl.: interpoláció). Ezért kutatásaim során törekedtem olyan hálózati topológiák kialakítására ahol az egyes cellák interakciója javítja a rendszer tulajdonságait.

A két vizsgált terület:

- **Újfajta, a környezet felismerését segítő szenzorok alkalmazása a robotikában**
- **Csatolt oszcillátorok szinkronizációs vizsgálata**

A robotok megjelenése először az iparban hozott nagy átörést. Pontosságuk, munkabíró képességük, nagyfokú megbízhatóságuk lehetővé tette a jó minőségű, olcsó tömegtermelést. Azóta rengeteg, formájú és felépítésű robotot fejlesztettek ki a kutatók. A technológiai fejlődésnek és a kutatásoknak köszönhetően, ezek az eszközök egyre közelebb kerültek az emberhez. Rengeteg olyan megoldás született, ami a mindennapi életet próbálja megkönnyíteni. Megjelenésükben, pedig egyre jobban követik az emberszerű kialakítást, hiszen egy ember alkotta világban, az embernek alkotott berendezésekhez és eszközökhöz legjobban egy emberszerű robot tud alkalmazkodni. Azonban

ezen robotok széleskörű elterjedésére még várni kell. Ennek a legfőbb oka, hogy egy előre jól modellezett térben nagyon jól teljesítenek, de dinamikusan változó környezet esetén nem képesek jól alkalmazkodni [13]. A probléma a környezet felismerésében, érzékelésében rejtőzik, valahogy a robot mozgását, viselkedését össze kell kapcsolni a rá ható való világ történéseivel, ezeket érzékelnie kell. Kollégámmal Veres Józseffel még egyetemi éveink alatt megépített EE-bipedal robotunkon [3] végzett járási kísérletek is azt bizonyították, hogy a hatékony, robusztus járás eléréséhez elengedhetetlen fontosságú a valós környezet (hogy hogyan is áll a robot a talajhoz képest) vezérlésbe történő bekapcsolása. **Ezért kutatásaim során olyan (a robotika bármely területen is alkalmazható) kontaktuson alapuló illetve kontaktus mentes hardveres implementációkat (szenzorokat) kerestem, amelyek felhasználásával (alacsony számítási komplexitás mellett) javítható a környezet felismerése.**

A másik érdekes terület a hálózatba csatolt oszcillátorok vizsgálata, amelyeknek szinkronizációja jól megfigyelhető a természetben is [20]. Ezen belül is, a kaotikus oszcillátor rendszerek már jól ismertek a fázistérben mutatott különleges mintájakról [21]. Még különlegesebb jelenségeket figyelhetünk meg kettő vagy több kaotikus rendszer összekapcsolásánál különböző topológiák esetén [15]. Az emberi agyban is EEG alapján kimutattak kaotikus viselkedésre utaló mintázatokat [9,12]. Kísérletekkel bizonyították, hogy epilepsziás roham előjeleken kaotikus oszcilláció alakul ki az agy egyes részein, ahol az idegsejtek zavaró kisüléseinek terjedését mély agyi stimuláció segítségével blokkolni lehet [10]. Hasonló jelenséget mutattak ki a szívritmus zavar esetében is [11]. Ezen jelenségek tanulmányozása és

megértése pedig elengedhetetlen fontosságú újfajta gyógymódok vagy kezelések megalkotásához. Azonban a tanulmányok többsége csak szoftveres szimulációkon keresztül vizsgálja ezeket a jelenségeket.

Ezért kutatásaim során olyan megvalósításokat kerestem amiknek a segítségével az elemi oszcillátorok (akár Chua kaotikus oszcillátor) változtatható aktív vagy passzív csatoláson keresztül, különböző topológiákba rendezve vizsgálhatóak. Ezzel az eszközzel validálni lehetne az eddigi kutatások eredményeit vagy újfajta topológiák, csatolások alkalmazása mellett újszerű jelenségeket valós időben megfigyelni, vagy egyszerűbb (kaotikus) oszcillátor rendszerek viselkedését modellezni.

2. A vizsgálatok módszerei

Kutatásaim során számos diszciplínához tartozó eszköztárat és kutatást segítő szoftvert alkalmaztam. Munkám során fontosnak tartottam, hogy az elméleti leírás mellett, hardveres megvalósítás is létrejöjjön. A tervezett rendszerek szimbolikus leírásához Mathematica-át használtam, a modelleket, először szoftveres környezetben, MATLAB-ban implementáltam, amelynek számos "toolbox"-a nagy segítséget nyújtott a szimulációk során. Az elektronikai eszközök működését a National Instruments Electronics Workbench-ben teszteltem. A hardveres környezet megalkotásához a nyomtatott áramköröket az Altium Designer-t használtam. Ezekben a főbb feladatokat PIC típusú (8, 16 bites) microcontrollerek végezték el. A számítógépen az adatok feldol-

gozásához a környezet pedig szintén a MATLAB biztosította. Az infra szenzortömb esetében az elméleti leírásnál egy adott tárgy távolságának kiszámításához az inverz négyzetes törvényt (inverse square law) alkalmaztam, ami a Phong modell egyszerűsített változata ($\pm 45^\circ$ visszaverődés esetén). A tárgyakról visszaverődő fény beesési szögének meghatározásához egy több szenzor mérését felhasználó iteratív közelítő eljárást implementáltam. A tárgy széleinél fellépő torzítást polinóm, illetve szinuszos görbék illesztésen alapuló súlyozással próbáltam kiküszöbölni. A rendszer tulajdonságainak mérését, a szenzortömböt egy $10\mu\text{m}$ lépési pontosságú (x, y, z -ben mozgó) léptetőasztalra felszerelve (z -tengelyre) tárgyak szkennelésével valósítottam meg. A lokalizációs kísérleteket egy, a szenzortömbbel felszerelt, PowerBot típusú mobil robottal [8] végeztem el. A 3D nyomásérzékelőt borító kupola szerkezetének és a hozzá tartozó öntőformák megtervezésében az Autodesk Inventor CAD program nyújtott segítséget, ahol egy adott erő hatására létrejövő szerkezeti deformáció (torzulás) mértékét véges elem analízissel közelítettem. Az öntőformák pedig 3D-s nyomtatási eljárással váltak valóságossá (Varinex Kft). A rendszer kalibrációja egy hitelesített erő mérő Andilog Contor Easy mérőrendszerrel történt, ahol a kupola precíz mozgathatóságához szintén a léptetőasztalt használtam. Az oszcillátor tömbök esetében a hardveres elemeket EAGLE-ben terveztem meg. A Chua kaotikus áramkörök szimulációját pedig MATLAB és SPICE környezetben végeztem el.

3. Új tudományos eredmények

1. Tézis: *Objektumok körvonalának és felületi jellemzőinek meghatározása alacsony felbontású infra LED - fotodióda párokon alapuló távolságérzékelő szenzortömb segítségével megvalósított 3D-s képalkotó eljárással.*

A robotikában az egyik legnagyobb kihívást az ismeretlen környezetben való navigálás jelenti. Ennek leküzdéséhez elengedhetetlen fontosságú, hogy a robot a környezetében lévő akadályokat a lehető leggyorsabban érzékelje. Általában azokban az alkalmazásokban, ahol szükséges egy adott tárgy magasságának, orientációjának vagy távolságának meghatározása nem szükséges túl nagy felbontás (kevesebb mint 1-2mm pontosság már elegendő), viszont előnyös a minél nagyobb érzékelő felület. Ezért olyan szenzortömböt próbáltam létrehozni, ami nagy felületen képes érzékelni mégis kevés számú szenzort tartalmaz. Egy infra LED által kibocsátott, majd egy photo diódával érzékelt visszaverődő fény mennyiségen alapuló távolságmérés nem új keletű dolog. Bár nemlineális karakterisztikája és a visszaverődő fény mennyiség intenzitásának függése a visszaverő felület fényvisszaverő tulajdonságától használata inkább csak objektumok (on-off jellegű) detektálására korlátozódik minimális számú szenzor (1-2) alkalmazásával. Helyette más technikákon alapuló távolságmérő eljárások terjedtek el (lézer, ultrahang, PSD). Mindezen jól ismert hátrányok ellenére, igen kecsegtető az ilyen típusú szenzorok tér-időbeli felbontása, amely akár nagyságrendekkel megelőzi a konkurens szenzorokat és emellett kicsi méretű és kialakításuk is igen kedvező. Ezen érzékelő elemek tet-

szőleges tömbbe rendezésével az érzékelő felület előtt elhelyezett tárgyak távolságáról kapunk információt (távolságképet). A tárgyról létrehozott kép felbontása viszont a tömb méretével, azaz az infra LED- fotodióda közti távolsággal, limitált. Azonban a nagy időbeli felbontást és az egyes szenzorok látószögének átlapolódását kihasználva az egyes szenzoregységek térbeli felbontásánál nagyobb felbontást lehet elérni. Így optimalizálандó paraméterként tekinthető a szenzortömbben szereplő cellák száma és a kívánt felbontás mértéke.

A kifejlesztett érzékelő tömb olyan esetekben ahol a környezeti elemek előre ismertek (pl: futószalag) és gyors feldolgozás szükséges, vagy ahol csak az objektumok relatív távolsága számít, esetleg kiegészítő szenzorként, lassabb de pontosabb szenzor(ok) mellé, ott ezek a szenzorok kiváló alternatívát jelentenek.

Kísérleti eredmények bizonyítják, hogy a szenzortömb segítségével megvalósítható az objektum körvonalának, felületi jellemzőinek meghatározása. Sőt ígéretes eredményeket mutat a lokalizáció vagy SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) területén is.

A tézishez kapcsolódó publikációk: [1], [5].

1.1. Alacsony felbontású infra LED - potó dióda párokon alapuló távolságérzékelő szenzortömböt terveztem és valósítottam meg. A szenzortömbben elhelyezett szomszédos cellák mérési eredményeinek felhasználásán alapuló új iteratív megoldást fejlesztettem ki a egyenes felületről visszaverődő fény beesési szögének meghatározására imert α_i paraméter mellett.

Létrehoztam egy 8x1-es infra távolságmérő szenzor tömböt. Kihhasználva a szenzorok közti átlátást a felbontást 8 pixelről 15 pixelre javítottam. A pontos távolság kiszámításához az inverz négyzetes törvényt (inverse square law) alkalmaztam, ami megadja a kapcsolatot a szenzor kimenet $y(x, \theta)$, a tárgy távolságának (x), és a fény beesési szögének (θ) függvényében:

$$y(x, \theta) = \frac{\alpha_i \cdot \alpha_0 \cdot \cos(\theta)}{x^2} - \beta \quad (1)$$

ahol α_i a tárgy fényvisszaverő képességének paramétere, α_0 konstans (a használt infra LED sugárzási intenzitása, a photodióda spektrális érzékenysége és az erősítés mértéke), β az ambiens fény és az erősítő offszet feszültsége. A mérés során az α_i paramétert egy előzetes kalibrálás alapján számolom, vagy akár egy másik távolság érzékelő segítségével ki is mérhető (pl.: ultrahangos távolságérzékelő) [16]. A felület fényvisszaverési szögének (θ) meghatározásához iteratív megoldást vezettem be. A megoldás lényege, hogy felhasználva két szomszédos szenzor mérési eredményét, ugyanazon LED-hez tartozó fényvisszaverődési intenzitás mellett, lehetséges a θ felírása

$$\theta = \arctan\left(\frac{x_2 - x_1}{d}\right) \quad (2)$$

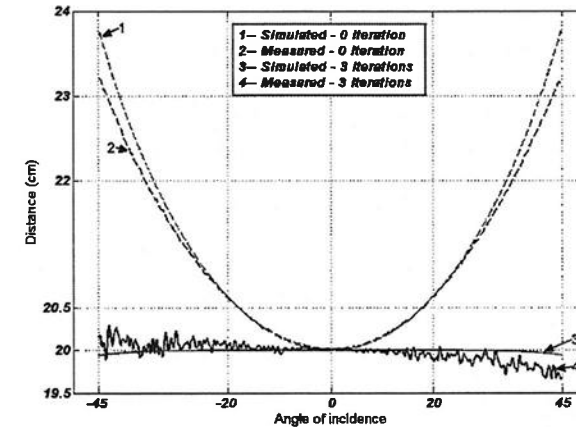
ahol x_1 és x_2 a tárgy a két különböző szenzorral mért távolság, d pedig a photodióda - LED távolsága.

A valós értékekre közelítést alkalmazva az iterációs eljárás a következő lépéseket tartalmazza:

1. θ' kiszámítása 0° -os fényvisszaverődés esetén
2. x'_1, x'_2 kiszámítása θ' -val
3. pontosított θ' meghatározása x'_1 és x'_2 becsléssel
4. majd ismét a 2. lépés a leállási feltétel eléréséig

A folyamat során az eltérés a θ' és θ között folyamatosan csökken (minden egyes iterációnál körülbelül 25%-t), leállási feltételként pedig az 1° különbség elérését szabtam meg. Már két iteráció után a különbség kisebb mint 0.3° , ami $\pm 6 \mu\text{m}$ pontatlanságot eredményez a mérésben, 45° -os fényvisszaverődés esetén. Fontos megemlíteni, hogy ez az iteratív eljárás nem igényel újabb szenzormérést, ezért hatékonyan implementálható akár egy mikrokontrolleren is. Természetesen az implementáció során az iterációk száma optimalizálandó paraméterként tekinthető, ami függhet a kívánt pontosságtól, vagy éppen az aktuális fényvisszaverődés szögétől is.

Az eljárás validálására egy olyan kísérleti környezetet hoztam létre, ahol a fényvisszaverődési szög kontrolláltan változtatható a $\pm 45^\circ$ -os tartományon belül. Az 1. ábrán jól látható,



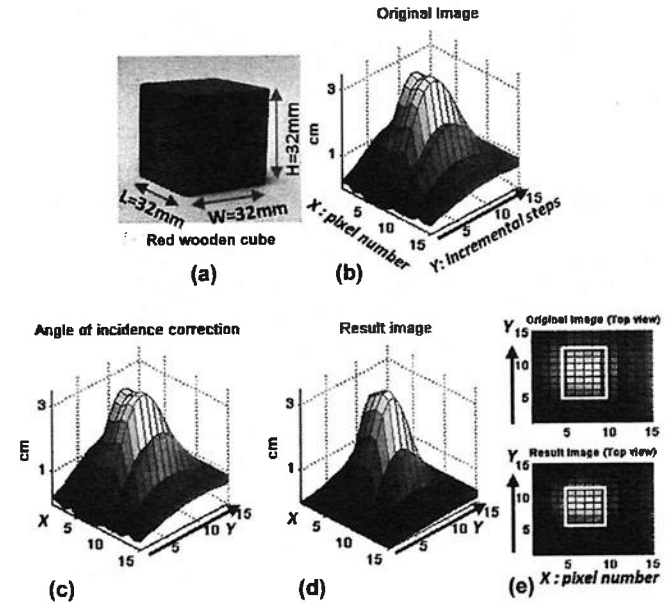
1. ábra. Az ábrán egy 20 cm-re lévő tárgy távolságát láthatjuk infra szenzorral mérve szimulált és valós mérési környezetben, fényvisszaverődési szögkompenzációval és anélkül. Az 1-es vonal jelöli kompenzáció nélküli, szimulált távolságot, a 2-es vonal pedig a hozzá tartozó valós mérési eredményt. A 3-s vonal az iterációs eljárással kompenzált távolságmérést mutatja be szimulációs, a 4-es vonal pedig valós esetben.

hogy az eljárás alkalmazása nélkül a távolság mérésben akár 15%-os eltérés is keletkezhet. Viszont már a harmadik iteráció után a hiba jelentősen (egy nagyságrenddel) csökken, mind a szimulált, mind a valós mérés esetében.

1.2. Megoldást adtam a szenzormező mozgása során a kimeneti képen az objektumok éleinél fellépő torzítás csökkentésére.

A szenzortömböt egy precíz léptető asztal segítségével, diszkrét lépésközzel (15x15-ös szenzormezőt emulálva), egy adott tárgy felett mozgatva arról 3D-s képet készítettem. Annak ellenére, hogy a használt infra LED-ek meglehetősen irányítottak ($\pm 10^\circ$) a fény jelentős mértékben a tárgy oldalairól is visszaverődik, ami a szkennelés irányában jelentős elmosódást eredményez (2(b) ábra). Ennek a kiküszöbölésére bevezettem egy új módszert, aminek alapja, hogy a kész képen (fényvisszaverődési korrekció után, 2(c) ábra) a szkennelés irányában egy negyedrendű polinomiális közelítést, 0-1 tartományba való skálázás után, súlyozásként használok.

Ez a művelet megőrzi a képen az eredeti távolság értékeket, az éleket pedig élesíti (2(d)). A 2(e) ábrán a tárgy felülnézeti képe látható amilyen egy treshold függvény segítségével (2 cm magasságban) a kimenetet fehér vonallal megjelöltem. Jól látható, hogy az eredeti képen egy 6×4 -es, a kompenzált képen pedig egy 4×4 -es területet emelt ki. Ha ezeket a méreteket összevetjük azzal, hogy egy pixel mérete 8 mm, akkor a mérendő tárgy hosszára és szélességére 32 mm adódik, ami megegyezik a mért (2(a)) tárgy méreteivel.

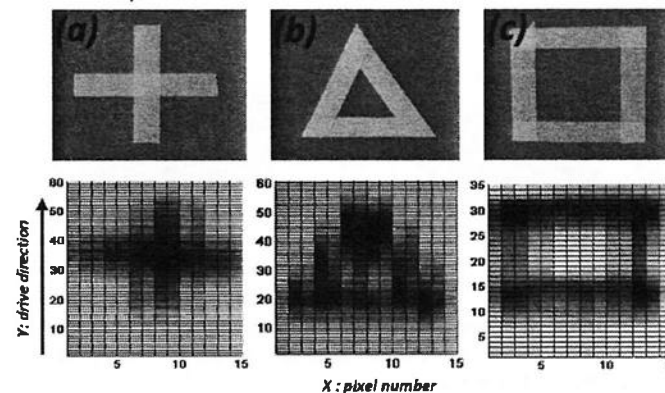


2. ábra. A szenzormező alá helyezett tárgy (a), az erről offszet kompenzáció után alkotott kép (b), visszaverődési szögkompenzáció kimenete (c), majd az élrekonstrukciós képen (d), egy treshold függvény segítségével kompenzáció előtti és utáni képen megállapított tárgyméretek (e).

1.3. Mobil robottal végrehajtott kísérletekben megmutattam, hogy az infra szenzortömb segítségével megvalósítható mesterséges vagy természetes lokalizációs minták felismerése és akadályok áthajtás előtti detektálása.

A szenzormező egyik nagy hátránya, hogy azonos távolságban, de eltérő fényvisszaverődési paraméterekkel rendelkező anyagok különböző távolságmérési értékeket eredményeznek. Azonban ezt a tulajdonságot akár ki is használhatjuk egy adott felület egyedi megjelölésére vagy információ tárolására, például különböző alakzatok rajzolhatóak egy felületre, amelyek lokalizációs mintaként alkalmazhatóak mobil robotok navigációjához. Ezt az állítást kísérleti úton bizonyítottam.

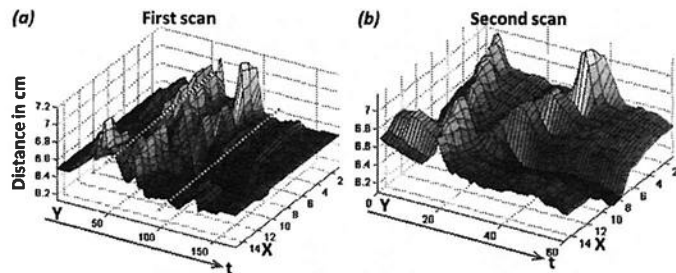
A szenzormezőt egy PowerBot típusú mobil robot első lökhárítójára szereltem. A talajra különböző formájú (kereszt, háromszög, négyzet) alakzatokat készítettem 1.5 cm széles és 10 cm hosszú fehér színű maszkoló szalagból. A szenzormezővel készített mérések, a robot egyenletes sebességű vezérlése mellett (0.2 m/s), a 3. ábrán láthatóak. A kereszt forma esetében (3(a)) a sarkoknál megfigyelhető homályosodás ellenére az alakzat jól felismerhető. A kapott kép minősége szélesebb vagy a háttértől jobban elkülönülő szalag alkalmazásával javítható. A szalag széleiről érkező visszatükröződés miatt a háromszög forma esetében a belső terület nehezen kivehető. A csúcsok esetében is degradáció figyelhető meg, ami a szenzormező felbontásánál kisebb méretek miatt alakult ki. A kocka esetében a sarkoknál erősebb válasz látható (nagyobb fényvisszaverődés - kisebb távolságvérték), mivel a használt maszkoló szalag enyhe átlátszó



3. ábra. A padlón kialakított lokalizációs minták és azok, a mobilrobotra felszerelt szenzormezővel rekonstruált képei.

tulajdonsága miatt minél több réteg fedi egymást, annál fehérebb (és annál jobban veri vissza a fényt). Ez a hatás a többi alakzat sarkainál is megfigyelhető.

Nemcsak mesterséges lokalizációs minták detektálhatóak ezzel a módszerrel, hanem a talaj mintázatának természetes változásai is hasonlóan jól használhatóak lokalizációs célokra, sőt akár térkép készítésére is. Egy átlagos linóleummal borított terebben közel egy méter megtétele után a mobil robottal, megismereltem az áthajtást a már bejárt terület egy részén. A szenzormező kimenete az egyenes mozgás esetében a 4(a), a meg-



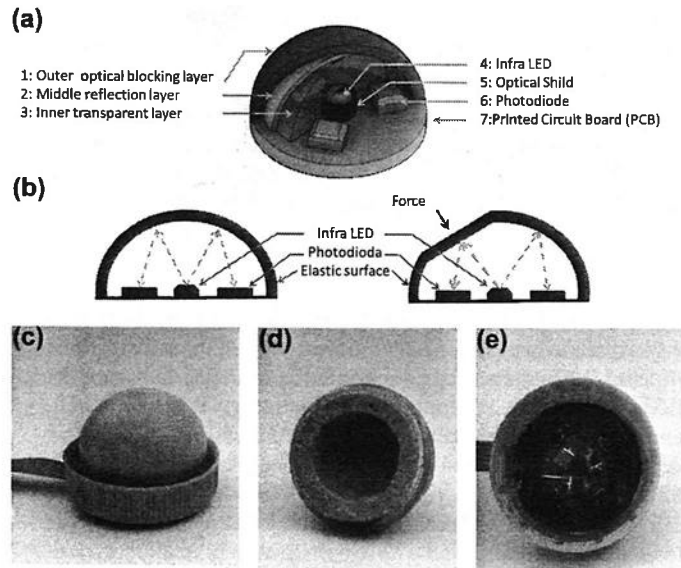
4. ábra. A szenzormezővel történő lokalizációs kísérlet, ahol egy nagyobb távon megtett (a) útvonalon megismételt mozgás (b) jól felismerhető (fehér pontozott vonallal megjelölve).

ismételt mozgásnál pedig a 4(b) képen látható. Általánosan használt lokalizációs algoritmusok segítségével könnyen eldönthető, hogy melyik területen ismétlődött meg az áthaladás (4(a) pontozott vonallal megjelölve). Tehát a szenzormező segítségével lehetséges természetes vagy mesterséges lokalizációs minták detektálása.

2. Tézis: *Optikai elven működő, robusztus felépítésű, elasztikus nyomásérzékelő kifejlesztése, ami képes a három erőkomponens független mérésére és az érintés helyének lokalizációjára.*

Kutatásaim során egy olyan újfajta nyomásérzékelő szenzor kidolgozásán dolgoztam, ami segítségével lehetséges a szenzorra ható erő három komponensének független mérése. Továbbá, nagy mérési (min 2000:1) és dinamika (KHz) tartománnyal rendelkezik, a mechanikai struktúra pedig lehetővé teszi a szenzor teljes felületén a nagy pontosságú nyomásmérést és a nyomás helyének meghatározását.

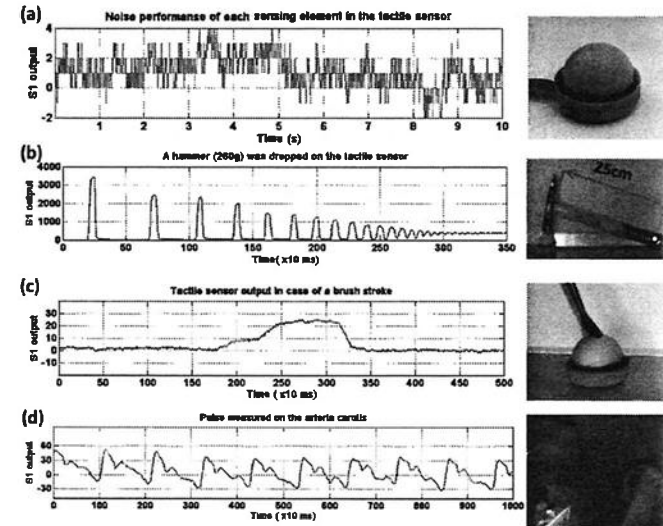
A szenzor kialakítását részben az infra szenzortöbbszörös munkám inspirálta. Ez alapját három egy síkban elhelyezett egymással 120° szöget bezáró fotodióda alkotja, a három fotodióda szimmetria középpontjában pedig egy infra LED van, aminek az oldalirányú szórását egy nem fényáteresztő 'köpeny' blokkolja (5(a)). A mérési elve abból áll, hogy a szenzor közepén található infra LED megvilágítja a kupola belsejét, ahonnan a visszavert fény intenzitását az egyes fotodiódák mérik. Külső erő hatására az elasztikus kupola alakja megváltozik és a deformálódásának függvényében változik az egyes fotodiódákra visszavert fény mennyiség, amely változás arányos az kifejtett erő mértékével és irányával. A mérési metódust az (5(b)) ábra szemlélteti. A szenzor fizikai méreteit a rá helyezett elasztikus borítás (kupola) és az alkalmazott fényérzékelők és az infra LED méretei határozzák meg. Az első prototípus az 5(c) ábrán látható. A szenzor mérete a mai korszerű szilíciumra integrált infra LED és fotodiódák segítségével akár a milliméteres, furatszerelt alkatrészek esetén akár a több centiméteres nagyságrendet is elérheti.



5. ábra. A tapintó szenzor felépítése (a), mérési elv (b), első prototípus (c), elasztikus kupola (d), a szenzor alapja (e)

Ezáltal a szenzor méretei jól állíthatóak a kívánt alkalmazásokhoz, illetve szenzormező (akár mesterséges bőr) kialakításához.

A 6. ábárán különböző a tapintó szenzorral elvégzett mérések láthatóak. Nyugalmi állapotban a szenzor zaja ± 3 LSB



6. ábra. (a) a szenzor időbeli zaj karakterisztikája nyugalmi állapotban, (b) egy 260g tömegű kalapács szenzorra való ráejtése és az oszcilláció lecsengése, (c) egy ecsettel történő átsimításra adott válasz, (d) a szenzort a nyaki ütőérre helyezve a pulzus hullám időbeli lefolyása

(Least Significant Bit) ami a teljes elméleti tartományon (65536 LSB) 1/10000 -os hibát jelent (6(a)). A szenzor robusztusságát mutatja, egy a végénél rögzített kalapács (260 g) szenzorra történő

ráejtését, ahol a 6(b) ábrán jól megfigyelhető az esemény utáni lecsengő oszcilláció, 100Hz mintavételi frekvencia mellett. Ugyanezen szenzor egy ecsettel történő átsimításra adott válasza látható a 6(c) ábrán, majd a nyaki ütőérre helyezve a pulzus hullám időbeli lefolyása figyelhető meg a 6(d) ábrán.

A tézishez kapcsolódó publikáció: [6].

2.1. Robusztus többrétegű elasztikus kupola felépítést javasoltam, mely támogatja a kisméretű ($<1\text{cm}$) szenzorkialakítást.

A szenzor tulajdonságai (mérési tartomány, pontosság) nagyban függenek a kupola kialakításától. Ezért olyan kupola borítást és réteges felépítést terveztem aminek segítségével növelhető a felbontás, csökkenthető a zaj és a fizikai méret.

A szenzor felületét három funkcionálisan jól elkülöníthető zárt elasztikus (szilikon) kupola borítja (5(a)). Minden rétegnek fontos szerepe van:

1. Külső optikai blokkoló réteg: Lehetővé teszi a külső fényváltozások szenzorra gyakorolt hatásának kiszűrését. Optikailag blokkol, azaz segítségével a külső zavaró fény nem jut a szenzor belsejébe illetve a szenzor belsejéből sem enged ki kilépni az infra fényt.
2. Középső fényvisszaverő réteg: Optikailag diffúz anyag, feladata a szenzorban elhelyezett infra LED fénynek visszaverése az érzékelő elemek felé.
3. Belső optikailag átlátszó réteg: Optikailag tökéletesen átlátszó, feladata a mechanikai struktúra megerősítése, elősegítve a szenzor méréshatárának kiterjesztését, illetve a szenzor mechanikai védelmét.

Az egyes rétegek vastagsága az elasztikus borítás anyagától illetve feladatspecifikusan változtathatóak. A rétegek vastagsága befolyásolja a szenzor mérési tartományát (összenyomhatóságot), fizikai méretét (magasság, szélesség) és súlyát.

2.2. Kidolgoztam egy eljárást az optikai nyomásérzékelő kalibrálására. Algoritmikus megoldást javasoltam a felületre ható erő szenzor felszínén való lokalizációjára.

A szenzor megbízhatóságában nagy szerepe van a kupola kialakításának, ezért a belső felület bármilyen egyenetlensége, vagy az alapra rögzítés hibája nagy mértékben befolyásolhatja a mérés pontosságát. Ezért egy olyan kalibrációs eljárást fejlesztettem ki, aminek segítségével a szenzor kimeneti karakterisztikája a nyomás irányának és erősségének függvényében mérhető. Ehhez egy precíziós nyomásmérőt használtam (Andilog, Centor Easy) referenciaként, a szenzor mozgatásához pedig egy léptetőasztalt egy rotációs csuklóval kiegészítve.

A mérés során megállapításra került, hogy a kimeneti karakterisztika nyomáskorrekciója függ a nyomás irányától (szögétől), ezért szükség van a szög meghatározására a nyomásvektor értékeinek kiszámítása előtt. Ami akár az infra szenzor tömb esetében ismertett iterációs eljárással is megoldható.

3. Tézis: *Elemeiben is kaotikus viselkedésre képes, passzív vagy aktív kétpólusú csatolásokkal tetszőleges topológiába kapcsolható moduláris rendszer tervezése és megvalósítása.*

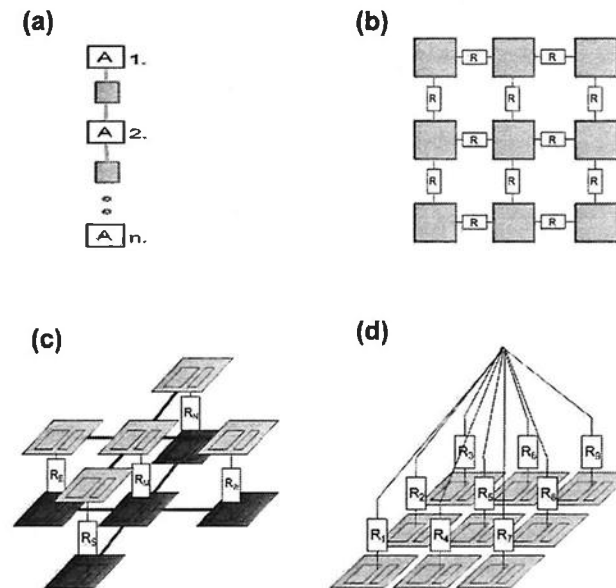
A csatolt oszcillátorokon fellépő szinkronizációs jelenségek egy nagyon intenzíven kutatott terület [17,18]. Ennek egyik oka a potenciális használhatósága a különböző mérnöki területeken, mint például elektronika, kommunikáció [19], vagy információfeldolgozás. Maga a káosz elmélet és az irányítása is egyre kutatottabb terület. A kaotikus rendszerek leginkább a fázisterük különleges mintázataikról híresek, ami mindig is felkeltette a kutatók figyelmét [21]. Még különlegesebb jelenségeket figyelhetünk meg kettő vagy több kaotikus rendszer különböző topológiák esetén történő összekapcsolásánál [15]. Azonban ezen jelenségeket legtöbbször csak szimulációs környezetben vizsgálják, amihez számítás igényességük miatt sok idő szükséges.

Ezen jelenségek tanulmányozására és új jelenségek megfigyelésének reményében alkottam meg egy hardveres környezetet ahol az egyes oszcillátor elemek egymásra gyakorolt hatása valós időben figyelhető meg.

A tézishoz kapcsolódó publikációk: [2], [4].

3.1. Kifejlesztettem egy moduláris környezetet, amivel lehetőség van különböző (kaotikus) oszcillátorok tetszőleges (a fejlesztett rendszerben praktikusán: $4 \times 4 \times n$ -es) topológiájú kialakítására, bármely kétpólusú aktív vagy passzív csatoló elem használatával. Ahol újszerű fáziseltolódással szinkronizálódó oszcillációs viselkedést fedeztem fel deszinkronizáció - szinkronizáció állapotátmenet esetén, 1D,2D és 3D-s összeköttetéseknel.

Egy olyan hardveres implementációt hoztam létre, ami segítségével lehetőség nyílik eltérő topológiák használatával különböző oszcillátorok összekapcsolására (7. ábra). Összekapcsolásukra bármilyen kétpólusú passzív vagy aktív elem használható. A rendszer egy hat szomszédsági összeköttetésű CNN architektúrán alapszik, ahol mindegyik cella egyedi, szomszédjához pedig a már említett passzív vagy aktív csatoláson keresztül csatlakozik. Kísérleteimben Chua típusú kaotikus oszcillátorokat használtam elemi CNN cellákként, súlyozáshoz pedig rezisztív csatolásokat. A rendszer oszcillátor hálózatok valós idejű tanulmányozására használható, a már ismert vagy egyedi topológiák alkalmazása mellett. A hálózat alapját Chua kaotikus oszcillátorok képezik, aminek négy kimenetét használjuk a rendszer bementeként, ezek az A, B (a kapacitásokon mért feszültségek) és ezek erősített jelei MA, MB. Az első hardver elem akár 16 db Chua áramkör jele közül képes kiválasztani (akár időben dinamikusan állítva) a csatolásban használni kívántakat, amiket a következő csatoló egységhez továbbít. A csatoló egység valósítja meg a hat szomszédsági összeköttetést.



7. ábra. Példák megvalósítható összeköttetési mintákra: egy dimenziós (a), két dimenziós (b), három dimenziós (c), közös pont csatolás (d)

Rezisztív csatolás esetén, a csatolási értékeket $10K\Omega$ -tól 0Ω -

ig változtatva az oszcillátorok deszinkronizált állapotból szinkronizált állapotba kerültek. Azonban két Chua áramkör csatolása esetén azt figyeltem meg, hogy egy adott csatolási értéknél a rendszer oszcillátorai elvesztik kaotikus viselkedésüket és oszcillációjuk egy fáziskülönbséggel szinkronizálódik, a csatolási érték további csökkentésével pedig ismét deszinkronizálódnak.

TABLE I
COUPLING RANGES WHERE CONNECTED CHUA'S CIRCUITS ARE IN PHASE LAG WITH EACH OTHER FOR DIFFERENT TOPOLOGIES.

Connected Chua's circuits								
Size 1D	2	3	4	5	6	7	8	9
Resistor value ($k\Omega$)	9.2-4.2	5.6-1.3	5.2-3.6	6.1-3.9	5.3-3.5	1.2-0.7	4.7-3	4.7-3.6
Size 2D	2x2	2x3	3x3					
Resistor value ($k\Omega$)	7.15-5.2	5.6-1.3	8.7-5					
	6.2-4.1		5.5-0.280					
Size 3D	3x3							
Resistor value ($k\Omega$)	7.2-4.2							

Tovább növelve az Chua áramkörök számát, eltérő topológiák esetén, rezisztív csatolásnál, hasonló jelenséget figyeltem meg. A csatolási értékek, különböző számú és topológiájú összeköttetés esetében az I. táblázatban láthatóak.

Azonban ezen jelenség magyarázata további vizsgálatokat igényel.

4. Eredmények alkalmazási területei

A munkám során elkészült algoritmusok és implementációk mindegyike valós alkalmazási területeken felmerülő problémákra ki-

nál megoldást.

Az első téziscsoport eredményei remélhetőleg megoldást kínálhatnak az olcsó szenzorokkal való SLAM készítésében háztartási robotok számára. Esetleg robot porszívókban ahol, térkép híján, nem garantálható a teljes körű sikeres munkavégzés, azonban az ismertett szenzor segítségével (annak 2D-re való kiterjesztésével) a padló mintázatait felhasználva megvalósítható megfelelő térkép készítése. A második téziscsoport egy olyan újfajta szenzort mutat be, ami nagy terhelési dinamikája miatt, akár az iparban is megbízhatóan alkalmazható. Érzékenysége miatt jelenleg is ígéretes kísérletek folynak non-invazív vérnyomás meghatározására és pulzus mérésére. Taktilis érzékelőként is remélhető az elterjedése, mivel a szenzor szerkezete a lágy simogatástól egészen egy erős ütésig képes ellenállni és használható nyomásinformációval szolgál akár Mhz-s felbontásban is.

A harmadik téziscsoport eredményei inkább a kutatás területén alkalmazhatóak hardveres kísérleti eszközként, amelyen már lefuttatott szimulációk eredményét lehet validálni vagy esetleg új jelenségeket valós időben megfigyelni.

5. Köszönetnyilvánítás

Először is, szeretném megköszönni önzetlen támogatását, segítségét és belém vetett hitét témavezetőmnek *Cserey Györgynek*.

Hálás vagyok a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológia Karának és az Interdiszciplináris Műszaki Tudományok Doktori Iskolának, ezeken belül is különösen *Nyékyné Gaizler Juditnak*, *Roska Tamásnak* és *Szolgay Péternek*, hogy

biztosították mindazon feltételeket és eszközöket amik szükségessé voltak a sikeres munkavégzéshez.

Szeretnék köszönetet mondani *Veres József*nek, a már nagyon hosszú ideje tartó közös munkáért és inspiráló beszélgetésekért.

Hálás vagyok a Robotika laborban dolgozó közvetlen kollégáimnak *Sárkány Norbert*nek, *Koller Miklós*nak, *Rák Ádám*nak, *Hóz Norbert*nek, *Vákló Balázs*nak, *Soós Gergely*nek, *Feldhofer Gergely*nek, *Sándor Alpár*nak, *Lombai Ferenc*nek és *Gaurav Gandhin*nek segítségükért, tanácsaikért és a szakmai beszélgetésekért.

Szeretnék köszönetet mondani továbbá a többi PhD-hallgatónak és barátaimnak segítségükért, különösen *Tisza Dávid*nak, *Vizi Péter*nek, *Rudan János*nak, *Tuza Zoltán*nak, *Szolgay Dániel*nek, *Kiss András*nak, *Tornai Gábor*nak, *Füredi László*nak, *Kárász Zoltán*nak, *Kovács Andreán*ak, *Szabó Vilmos*nak, *Tornai Kálmán*nak, *Varga Balázs*nak, *Pilissy Tamás*nak, *Tibold Róbert*nek, *Balogh Ádám*nak és *László Endréné*nek.

Külön köszönöm a beszélgetéseket és ötleteket *Szederkényi Gábor*nak, *Oláh András*nak, *Kis Attilán*ak, *Vásárhelyi Gábor*nak, *Iván Kristóf*nak, *Bankó Éván*ak, *Weiss Bélán*ak, *Karacs Kristóf*nak és *Tihanyi Attilán*ak.

Köszönöm a végtelen türelmet és segítőkészséget *Vida Tivadar*nének, *Andorján Lívián*ak, *Haraszi István*nének és *Mikesy Judit*nak és a többi adminisztratív és pénzügyi személyzetnek.

Külön köszönet *Tar Saroltán*ak, *Gyöngy Miklós*nak és *Cserey Zsófián*ak, akik nagyon sokat segítettek az angol változat megszületésében.

Köszönettel tartozok a Nemzeti Fejlesztési Terv Gazdaság

és Versenyképesség Operatív Programjának (GVOP-KMA), az Office of Naval Research-nek (ONR) és a Hiteles-ember alapítvány anyagi támogatásukért továbbá a Varinex Zrt.-nek a 3D-s prototípus gyártási lehetőségért.

Végül, de távolról sem utolsó sorban szeretném megköszönni, és őszinte hálámat kifejezni *Édesanyámnak* és *Édesapámnak*, és családomnak akik minden tőlük telhetőt megtettek azért, hogy a kutatásra tudjak összepontosítani.

Köszönöm szerető feleségemnek, *Bernadett*nek a kitartását, türelmét, bátorítását a legnehezebb pillanatokban is!

6. Publikációs lista

6.1. A szerző folyóiratbeli publikációi

- [1] Á. Tar and Gy. Cserey, „Object Outline and Surface-Trace Detection Using Infrared Proximity Array,” *Sensors Journal*, IEEE, no. 99, pp. 1–1, 2011.
- [2] Á. Tar, G. Gandhi, and Gy. Cserey, „Hardware implementation of CNN architecture-based test bed for studying synchronization phenomenon in oscillatory and chaotic networks,” *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 37, no. 4, pp. 529–542, 2009.

6.2. A szerző nemzetközi konferencia publikációi

- [3] Á. Tar, J. Veres, and Gy. Cserey, „Design and Realization of a Biped Robot Using Stepper Motor Driven Joints,” in *International Conference on Mechatronics (ICM)*, pp. 493–498, IEEE, 2006.
- [4] Á. Tar, G. Gandhi, Gy. Cserey, and T. Roska, „3D modular CNN grid using Chua’s circuit kits,” in *The 10th Experimental Chaos Conference (ECC10)*, pp. 1 – 6, IEEE, 2008.

- [5] Á. Tar, M. Koller, and Gy. Cserey, „3D geometry reconstruction using Large Infrared Proximity Array for robotic applications,” in *International Conference on Mechatronics (ICM)*, pp. 1 – 6, IEEE, 2009.
- [6] Á. Tar and Gy. Cserey, „Development of a Low Cost 3D Optical Compliant Tactile Force Sensor,” in *International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, IEEE, 2011.
- [7] N. Sárkány, Gy. Cserey, Á. Tar, and J. Veres, „Design of a biomechatronic hand actuated by the flexor-extensor mechanism,” in *International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, IEEE, 2011.

6.3. A tézisfüzethez kapcsolódó publikációk jegyzéke

- [8] „<http://www.mobilerobots.com>,”
- [9] W. Pritchard and D. Duke, „Measuring chaos in the brain—a tutorial review of EEG dimension estimation,” *Brain and Cognition*, vol. 27, no. 3, pp. 353–397, 1995.
- [10] S. Schiff, K. Jerger, D. Duong, T. Chang, M. Spano, and W. Ditto, „Controlling chaos in the brain,” *Nature*, vol. 370, no. 6491, pp. 615–620, 1994.

- [11] J. Skinner, A. Goldberger, G. Mayer-Kress, and R. Ideker, „Chaos in the heart: implications for clinical cardiology,” *Nature Biotechnology*, vol. 8, no. 11, pp. 1018–1024, 1990.
- [12] H. Korn and P. Faure, „Is there chaos in the brain? ii. experimental evidence and related models,” *Comptes rendus biologies*, vol. 326, no. 9, pp. 787–840, 2003.
- [13] M. Lee, „Tactile sensing: new directions, new challenges,” *The International Journal of Robotics Research*, vol. 19, no. 7, p. 636, 2000.
- [14] R. Russell, *Robot tactile sensing*. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA, 1990.
- [15] D. Hillier, S. Günel, J. A. K. Suykens, and J. Vandewalle, „Partial synchronization in oscillator arrays with asymmetric coupling,” *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2007.
- [16] A. Flynn, „Combining sonar and infrared sensors for mobile robot navigation,” *The International Journal of Robotics Research*, vol. 7, no. 6, p. 5, 1988.
- [17] G. Chen and X. Dong, *From Chaos to Order: Methodologies, Perspectives, and Applications*. World Scientific, 1998.
- [18] T. Ohiro, Y. Setou, Y. Nishio, and A. Ushida, „Circuit Realization of a Coupled Chaotic Circuits Network and Irregular Pattern Switching Phenomenon,” *IEICE Transaction on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, vol. 81, no. 9, pp. 1785–1790, 1998.

- [19] G. D. VanWiggeren and R. Rajarshi, „Communication with chaotic lasers,” *Science*, vol. 279, pp. 1198–1200, Feb. 1998.
- [20] M. Barahona and L. M. Pecora, „Synchronization in small-world systems,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 89, p. 054101, Jul 2002.
- [21] L. Chen and K. Aihara, „Strange attractors in chaotic neural networks,” *Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 47, pp. 1455–1468, Oct. 2000.