

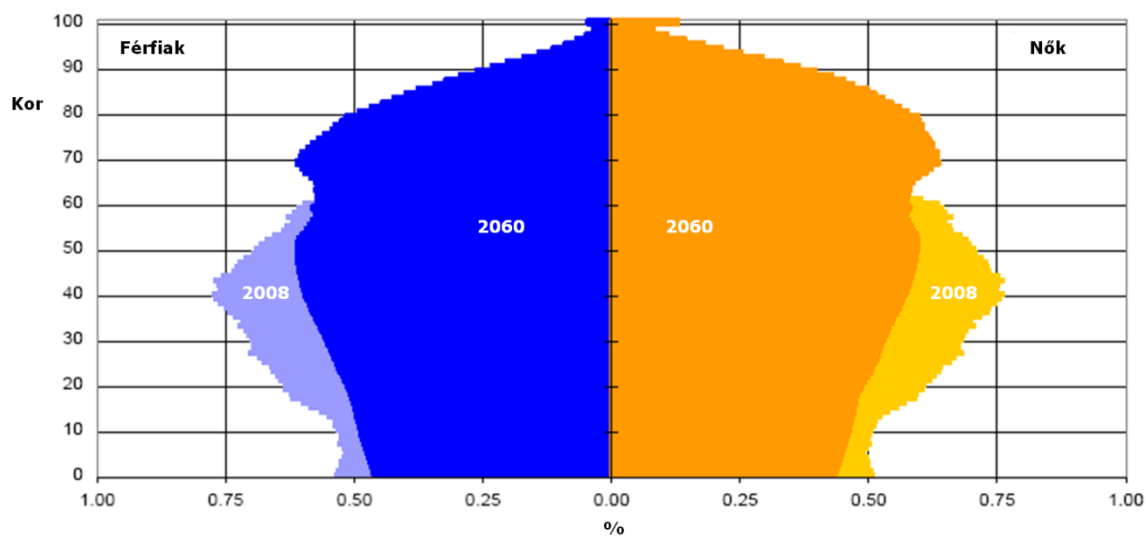
Az öregedő társadalom kihívása: Az idősek ellátása

Újfajta optikai esésérzékelési lehetőségek új technológiákkal

Srp Ágoston Mihály, Dr. Vajda Ferenc – Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Társadalmunk elöregedése miatt jelentős változásoknak nézünk elébe. Az idősek egyre növekvő száma szükségessé teszi, hogy az ápolásukat szolgáló rendszereket intelligens technológiákkal fejlesszük. Az egyik szükséges új technológia a folyamatos emberi ellenőrzést nem igénylő automatikus esésérzékelő rendszer. E cikk egy új, az emberi retina működését utánzó érzékelőre és esések felismerésére betanított neurális hálózatra épülő esésérzékelő rendszert mutat be.

Társadalmunkban a 20. század fordulója óta nagymértékű demográfiai változások történtek. A népesség átlagos életkora a történelmünkben páratlan technikai és orvosi fejlődések nyomán példátlan mértékben nőtt; a 65 év felettiek száma az elkövetkező 50 évben jelentősen nőni fog (1. ábra). Ezzel egyidejűleg az európai társadalmakban a hagyományos családmodell háttérbe szorult, a születések száma egyre csökken.



Forrás: Eurostat, EUOPRO2008 konvergencia szcenárió

1. ábra: Az EU népességének kor szerinti eloszlása 2008-ban és várható eloszlása 2060-ban

A demográfiai struktúra ily mértékű átalakulása komoly kihívások elé állítja az egész társadalmat. A két legfőbb probléma összefüggő, és súlyosbítja egymást: A növekvő számú és egyre idősebb öregek ápolása egyre több pénzt és emberi erőforrást igényel(ne), azonban a társadalom általános elöregedése és a születések csökkenő száma miatt egyre kevesebb a fiatal dolgozó, így ápolóhiány léphet fel. A helyzetet csak súlyosbítja a töretlen technológiai és gyógyászati fejlődésnek köszönhető folyamatosan növekvő várható élettartam. Jelenleg is léteznek megoldások a kérdés enyhítésére, például az ápoló intézetekben elterjedt videó felügyelet és az ún. pánikgomb, azonban ezek nem kielégítőek. A videós megfigyelés továbbra is emberi felügyeletet igényel, tehát igazából nem helyettesíti az emberi erőforrást, viszont az ápoltak magánszféráját sérti. A pánikgomb több szempontból sem megfelelő: vészhelyzet esetén a fix telepítésű gomb elérhetetlen lehet, a hordozható eszközt az ápolat elfelejtetheti magával vinni. Mindkét esetben a jelzést az ápolat kezdeményezi, így képesnek és hajlandónak kell lennie a jelzés leadására. Egy eszméletvesztéssel járó esés, vagy bizonyos pszichikai betegségek (pl. Alzheimer kór) esetén az eszköz nem biztosítja a vészhelyzet jelzését. Az egyedül élő idős emberek körében az esés az egyik fő egészséget veszélyeztető tényező [[1.]]: a 65 éven felüliek 30%-a esik el évente legalább egyszer. Ápoló intézetekben az arány még ennél is magasabb, ami nem meglepő, hiszen ápoltaik általában esendőbbek és gyengébb egészségűek. Az esések töredékénél szükséges csak orvosi beavatkozás, azonban ezeket a helyzeteket súlyosabbá teheti az esés felfedezéséig eltelt idő. Az ilyen esetekben nem ritka a pszichológiai trauma sem, melynek egyik következménye lehet az eséstől való félelem. Ez a mobilitás és aktivitás csökkenéséhez vezet, ami viszont tovább rontja a személy általános állapotát, és növeli az esés kockázatát.

A jelenlegi helyzet szükségessé teszi egy effektív és robusztus automatizált megfigyelő rendszer kifejlesztését. Egy ilyen rendszerrel szemben a következő főbb követelmények támaszthatók:

- *Feltűnésmentesség* – az idős emberek számára fontos, hogy ne legyen mások számára nyilvánvaló, hogy ők ilyen segítségre szorulnak
- *Megbízhatóság* – az ápoltak és az ápolók is a rendszerre hagyatkoznak, hogy vészhelyzetben jelezzen
- *Robusztusság* – a rendszernek szokatlan és ismeretlen helyzetekben is működni kell

E cikkben egy ilyen rendszer lehetséges felépítését mutatjuk be ún. „asynchronous temporal-contrast” (ATC) érzékelők és neurális hálózatok használatával.

ATC érzékelő

Az ATC érzékelő egy újfajta, bioinspirált technológia, mely az emberi retinához hasonló módon működik. Egy hagyományos kamerával ellentétben nem az abszolút megvilágítást, hanem a relatív intenzitásváltozást érzékeli. Minden pixel függetlenül aszinkron módon működik és eseményeket generál. Az érzékelő kimenete időbélyeges digitális pixelcímek sorozata [[7.]].

Az ATC érzékelők alapvetően eltérnek a hagyományos kameráktól, ezekkel a különbségekkel tisztában kell lenni. A hagyományos kamera fix mintavételezési frekvenciával, képfrissítéssel, rendelkezik. Ezzel szemben az ATC érzékelő aszinkron működésű, így egy minimális sebesség felett már minden mozgást érzékel, még ha rendkívül gyors is. Míg a hagyományos kamerák óriási mennyiségű redundáns adatot gyártanak, nagyjából ugyan azzal a képtartalommal, addig egy ATC érzékelő csak a változásokra érzékeny, így nem pazarol értékes sávszélességet és számítási kapacitást arra, hogy ugyan azt a képtartalmat analizálja újra és újra. A hagyományos kamerák képeket készítenek, ezzel megsértik az ápolat magánszféráját. Az ATC érzékelő csupán digitális pixelcímeket szolgáltat, a változás irányával (be/ki, azaz világosodás/sötétedés), időbélyegével és pozíciójával (az érzékelő pixel pozíciója az érzékelő mátrixban). Ezen adatokból kép nem állítható elő, így a magánszféra sem sérül.

Esésérzékelés szempontjából a legfontosabb tulajdonsága, hogy az ATC érzékelő az érzékelésének fizikai mechanizmusából eredően automatikus háttér szegmentációt valósít meg. Ez óriási előny, hiszen így nincsen szükség bonyolult és nagy számítási kapacitást igénylő, tetszőleges háttér mellett működő szegmentálási algoritmusokra. Ez lehetővé teszi az optikai esésérzékelést nemcsak laboratóriumi, hanem valós környezetben is. ATC érzékelők használatával így megvalósítható egy kellően effektív, megbízható és robusztus automata esésérzékelő rendszer. További előny, hogy két érzékelőt sztereó elrendezésben használva 3D adat nyerhető. (2. ábra)



2. ábra: Sztereó ATC érzékelő CAD rajza

Egy másik nagyon fontos előny ebben az alkalmazásban, hogy az ATC érzékelő NEM kamera. Nem készül kép, kizárólag körvonalak kinyerése lehetséges, és a cikkben bemutatott körvonalak is csak laborkörülmények közötti tesztelrendezésben nyerhetők ki. Az elkészült rendszert csupán az esést jelző riasztás hagyja el. Ez segíti a magánszféra megsértésével kapcsolatos aggodalmak orvoslását - az ápoltak, rokonaik, ápolás szolgáltatók és a szabályozó szervezetek részéről is.

Képfeldolgozás

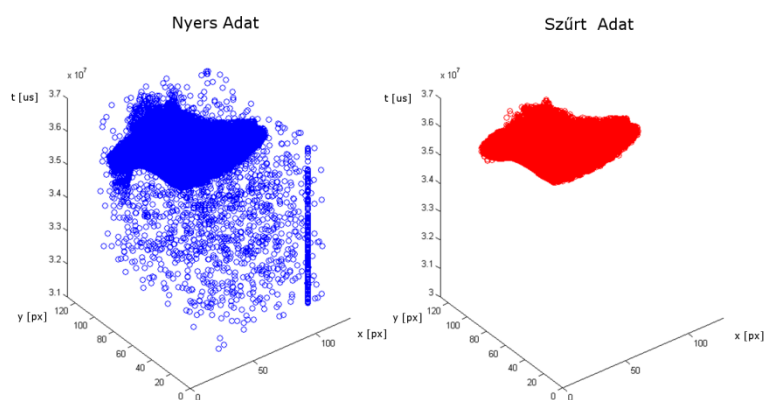
Az ATC érzékelő előnye egyben a legnagyobb kihívás is, ugyanis a hagyományos képfeldolgozási eljárások nem alkalmazhatók, mivel nincsen a hagyományos értelemben vett kép. Ez elkerülhető, azonban ez nem ajánlott, hiszen így éppen az érzékelő egyik legnagyobb előnye – az aszinkron természete – vész el.

Az legegyszerűbb ilyen módszer, amikor egy integrálási időn belül beérkezett eseményeket egy képbe összegyűjtjük. A módszer triviálisan egyszerű, azonban az integrálási idő megválasztása nehézkes, mivel eltérő mozgási sebességekhez eltérő optimális integrálási idők tartoznak.

Ez a módszer összehasonlítási célokra alkalmas és szükséges, valós alkalmazásban azonban nem érdemes használni. Az igazi megoldás az eseménytérben működő algoritmusok használata.

2D szűrés

Már az előzetes szenzoranalízis során azt tapasztaltuk, hogy az érzékelő meglehetősen nagy „sötétzajjal” rendelkezik, illetve a jele általában zajos. Hagyományos alkalmazásban ezt egy nemlineáris szűrés (pl. medián-szűrés) megoldaná, azonban ezek az eljárások nem alkalmazhatók közvetlenül eseménytérben, ezért kidolgoztunk egy saját algoritmust.

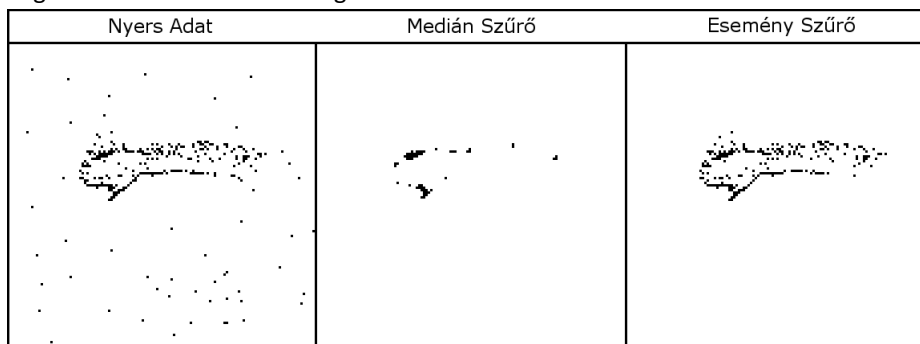


3. ábra: Aggregált adat szűrés előtt és után

Az algoritmus csak a meghatározott megfigyelési ablakon belüli eseményeket veszi figyelembe. Az érzékelő „képterét” azonos méretű vödörökre osztjuk, minden megfigyelési ablakon belüli eseményt a neki megfelelő vödörhöz rendeljük. A következő lépés egy durva előszűrés: Ellenőrizzük, hogy az adott vödörben, a 8 szomszédos vödörben és az ezeknek megfelelő előző megfigyelési ablakbeli vödörben található események száma eléri-e a megadott küszöbszintet. Ha igen, akkor a vödörbeli eseményeket tovább szűrjük, ha nem, akkor eldobjuk őket. Ez a lépés kiszűri a zaj nagy részét, csökkentve a következő lépés számításigényét. A finom szűrés számításigényesebb: A vödörben és 8 szomszédjában lévő összes eseményt összeveti. Ez a lépés a magányos eseményeket szűri ki, csak a kellően nagy csoportot alkotó események maradnak meg.

Az algoritmus az elvárásainknak megfelelően teljesített, a sötétzaj nagy részét eltávolítja, és csak minimális késleltetést visz a feldolgozási láncba. (Ez fontos másodlagos tényező, mivel a rendszernek valós időben kell működnie.)

Összehasonlítási célból a korábban leírt módon képpé alakítottunk néhány „képnyi” adatot, majd ezeken medián-szűrést végeztünk. Ezt a lépést elvégeztük a szűrőnk által feldolgozott adatokra is.



4. ábra: Szűrők összehasonlítása

Azt találtuk, hogy bár a medián-szűrő eltávolította az összes zaj, elfogadhatatlanul sok értékes adatpontot (nem zaj pontot) is kiszűrt. Ezzel szemben a saját szűrőnk a zaj nagy részét eltávolította, azonban sokkal több adatpontot őrzött meg (4. ábra). A felhasznált adatokat kézzel szegmentáltuk, ez szolgált összehasonlítási alapként. A jel-zaj viszonyt a megőrzött

adatpontok és a zajpontok számának hányadosaként definiáltuk. A kézzel szegmentált esetben ez az arány $\sim 4,83$ volt. Az eseménytérbeli szűrőnk $\sim 4,03$ -as arányt ért el, míg a medián-szűrő csupán $\sim 2,85$ -öst. Azt gondoltuk, hogy az alacsony jel-zaj viszonyoknak a sok kiszűrt adatpont volt az oka. Definiáltunk az adatmegőrzési vizont: a megőrzött adatpontok száma, osztva az összes adatponttal. A szűrőnk adatmegőrzési aránya $\sim 0,93$ volt, míg a medián-szűrőé csupán $\sim 0,63$. Ezzel a sejtésünk beigazolódott.

Kitüntetett pontok

Az esést, mint jelenséget többféleképpen lehet jellemezni: magasságváltozással, sebességgel, gyorsulással, határoló doboz arányokkal, testrészek relatív helyzetével stb. Ezek némelyike kiválóan alkalmas eseménytérbeli feldolgozásra, mások kevésbé. Ezek egy részénél egy bizonyos pont követése szükséges a jellemző számításához és ezt a pontot gondosan kell megválasztani.

Több lehetőség létezik e pont megválasztására, mindegyiknek megvan a maga előnye, és hátránya. A legegyszerűbben megvalósítható a legmagasabb pont (LP) követése. Általában ez a fejtető, de nem mindig, mivel a mindennapi mozgások során is, de esés közben különösképpen más testrész is lehet a legmagasabb pont. Ilyenkor a pont által leírt pálya nem folytonos, és a szakadás komoly nehézségek okozója a sebesség és gyorsulás figyelésénél.

Egy másik lehetséges ilyen pont a test tömegközéppontja (TKP) [[2.]]. Ennek számítása egyszerű, pályája „jobban folytonos”, azonban az ATC érzékelő természetete miatt vigyázni kell a számításánál. Mivel az érzékelő csak a mozgást követi, az érzékelt alak jelentősen változhat, így a tömegközéppont is gyorsan változik, és ugyan azon problémák merülhetnek fel, mint az előbbi esetben. Ennek elkerülése azonban - mivel ezek a hirtelen változások nem túl nagyok - nem túlzottan nehéz, a jelenség egyszerű átlagolással kiküszöbölhető.

Kiváló lehetőség lenne a fej tömegközéppontjának követése, és több előnnyel is kecsegtetne: Esés közben a fej mozog a legnagyobb sebességgel, ami sok eseményt okoz, így könnyű követni, és ilyenkor a sebesség és gyorsulása számítása is megbízhatóbb. Hátrányai közösek az előző lehetőséggel, ráadásul a fej szegmentálása is szükséges, ami ATC érzékelő adataival nehezen megvalósítható.

Egy érdekes és nagyon előnyös lehetőség lenne a vállvonal követése. Anatómiai szabályosság, hogy a fej és felsőtest szokványos mindennapi mozgásai során a vállvonal mozdul utoljára. Ez biztosítaná, hogy a későbbi számítások érzéketlenek legyenek a fej és a felsőtest apró mozgásaira. Meghatározása tetszőleges helyzetben azonban problémás és jelen ismereteink szerint ATC érzékelővel nem valósítható meg kellő hatékonysággal.

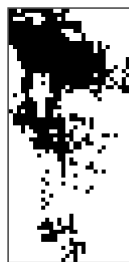
A fenti lehetőségeket vizsgálva úgy döntöttünk, hogy a legmagasabb pontot és test tömegközéppontját használjuk rendszerünkben.

Viselkedési analízis jellemzői

Több jellemző is kapcsolódik a választott pontokhoz. Ez egyik legegyszerűbb a magasság [[2.]]: Ha egy bizonyos érték alá csökken, akkor esés történt. A módszer egyszerű, azonban önmagában sok hibás jelzést adna, például leguggoláskor, leüléskor vagy lefekvéskor.

Kicsit kifinomultabb jellemző a követett pontok függőleges sebessége/gyorsulása. Sokféle esésnél van egy kvázi szabadeséses szakasz, amikor a gyorsulás konstans a függőleges sebesség pedig lineárisan nő [[3.]]. Ez nem minden esésre igaz, azonban más jellemzőkkel együttesen alkalmazva nagyon hasznos, növelhető az érzékenység, illetve csökkenthető a hamis riasztások aránya.

Nemcsak a függőleges sebességet, hanem a teljes sebességvektort figyelve, még jobb eredmények érhetők el. A sebességvektor hirtelen, nagymértékű változását feltehetően szokatlan esemény okozza. Ilyen lehet az esés közbeni ütközés valamivel (pl. egy asztal szélével) vagy az esés végén a padlónak ütközés. A sebességet és gyorsulást könnyű mérni hordható eszközökkel, azonban optikai érzékelőkkel számításuk nehezebb, a mérés zajosabb, ezt figyelembe kell venni.



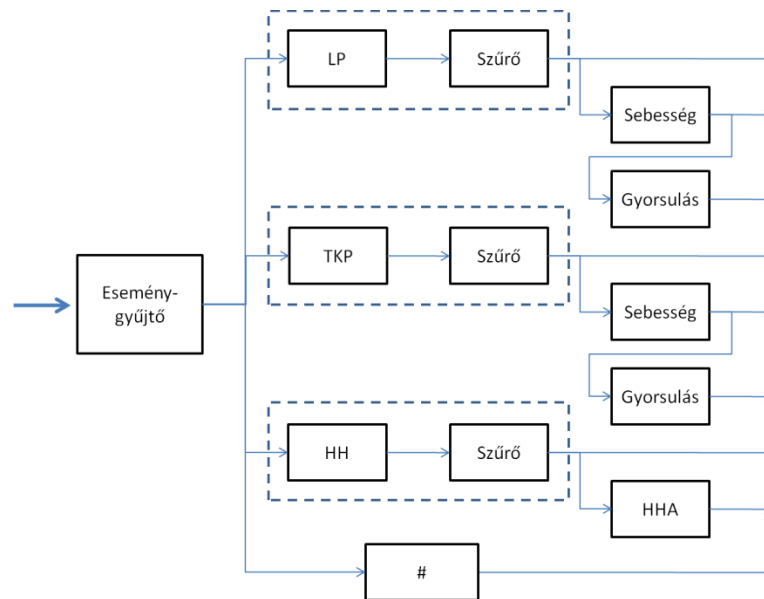
5. ábra: Határoló doboz álló helyzetben



6. ábra: Határoló doboz fekvő helyzetben

Hasznos jellemző lehet még a sziluett határoló doboza. Két dimenzióban gondolkodva, ha a magasság-szélesség arány nagy, akkor a figyelt személy valószínűleg áll (5. ábra), ha kicsi, akkor fekszik (6. ábra). Önmagában használva a lefekvést is esésnek jelezni [4, 5], azonban más jellemzők egyidejű vizsgálásával ez kiküszöbölhető. 3D adatok esetén a határoló doboz nem feltétlenül a legjobb megoldás. Ekkor 3 oldalal és 3 oldaláránnyal kell számolni, ami felesleges, mivel számunkra lényegtelen a fekvés iránya, csak a ténye érdekes. Ennek okán más 3D alakzatokat is vizsgáltunk. Határoló téglatest helyett egy függőleges határoló hengert (HH) használva már csak annak magasságával és átmérőjével, illetve ezek arányával (HHA) kell számolni.

Elméletileg lehetséges különböző testrészek (pl. a fej és a törzs, illetve a törzs és a combok [6]) relatív helyzetének vizsgálata. Ezek mérése pillanatnyi ismereteink szerint csakis laborkörülmények között, segédeszközökkel lehetséges, így alkalmazásuk nem praktikus.



7. ábra: Jellemzők

A különböző lehetséges jellemzők előnyeit és hátrányait figyelembe véve az esésérzékelő rendszerünk a következő jellemzőket használja: a legmagasabb pont és a tömegközéppont pozíciója, sebessége és gyorsulása, a határoló henger és a magasság-átmérő aránya és az események pillanatnyi száma (#). Meggyőződésünk, hogy ezek együttes alkalmazásával (7. ábra) lehetséges az esésérzékelés kellően megbízható és robusztus megvalósítása.

3D szűrés

Miután meggyőződünk a kétdimenziós szűrőalgorithmunk és a lényegkiemelő algoritmusok helyes működéséről, valós adatok elemzésébe kezdtünk. A határoló henger jósága messze elmaradt az elvárásainktól. Az adatok részletes elemzése során kiderült, hogy maradt némi zaj a szűrés után. A határoló henger számításának módja miatt ez a jelentéktelennek tűnő zaj is elegendő a jellemző jelentős torzításához. Ezt a problémát a priori ismeretek felhasználásával orvosoltuk. Mivel a vizsgált sziluett mindig emberalak, feltételeztük, hogy 2,2m-nél alacsonyabb emberről van szó. Ebben az esetben feltehető, hogy a sziluetthez tartozó események a tömegközépponthoz 1,1m-nél nem távolabb helyezkednek el. Ennek ismeretében a 3D szűrés a következő: meghatározzuk a tömegközéppontot, majd az összes esemény távolságát ellenőrizzük, és a megengedettnél távolabb elhelyezkedő eseményeket eltávolítjuk.

A leírt szűrőalgorithmus nemcsak megoldotta a határoló hengerrel tapasztalt problémát, hanem jelentősen javította a többi jellemzők minőségét is.

Gépi tanulás

Az esésérzékelés egyik legnagyobb kihívása egyetlen kérdéssel kifejezhető: Mi az esés? Erre a kérdésre nem tudunk kielégítő választ adni, képtelenek vagyunk algoritmikusan leírni mi az esés. Ennek következtében az algoritmikus megoldások általában nem nyújtanak kielégítő eredményt. Azonban össze tudunk gyűjteni kellően sok példát arra, hogy mi esés és mi nem.

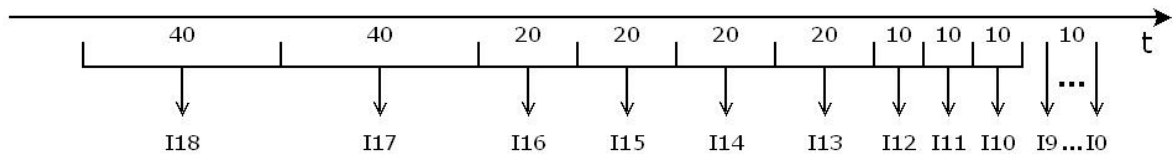
A gépi tanulás egyik fő iránya a komplex minták felismerése és a kapott adaton alapuló döntés. Végző soron az esés sem más, mint egy komplex tér- és időbeli minta. Ezt felismerve lehetővé válik egy tanuló rendszer használata az esések felismerésére. A sok lehetséges megközelítés közül, gondos elemzés után a neurális hálózatot választottuk.

Neurális hálózat

A neurális hálózatot az emberi agyról mintázták: sok, sűrűn csatolt elem párhuzamos működéssel old meg egy konkrét feladatot. Építőeleme a neuron, amely alapvetően a bemenetei súlyozott összegének a függvényét teszi a kimenetére. Ez a függvény többféle lehet, leggyakrabban használt a lépcsőfüggvény, a lineáris, a tangens szigmoid és a log szigmoid. Példák alapján tanul a súlyok módosításával. Egyik fajtája az előretápláló neurális hálózat. Ebben a neuronokat rétegekbe rendezzük, és csak a rétegek között vannak kapcsolatok. Nincsenek hurkok és nincs visszacsatolás. Nagy előnyük, hogy olyan problémák is megoldhatók velük, melyeknek mi magunk sem ismerjük a megoldását. Elegendő számú és kellő minőségű példával jól taníthatók. Habár a tanítás hosszadalmas lehet, ez nem okoz problémát, mivel a betanított hálózat már gyorsan reagál az ingerekre.

Előfeldolgozás

Az előzetes tesztek eredményei alapján úgy tűnik, hogy az általunk választott jellemzők jól alkalmazhatók esésérzékelésre, azonban neurális hálózatos feldolgozáshoz nem illeszkednek jól. Ahhoz, hogy egy esést érzékelni tudjunk ~2 másodperces intervallum adatait kell feldolgozni. Egyetlen jellemző vektor 33 elemű, a 10 ms-os integrációs időt figyelembe véve ez 660 elemű bemeneti vektort jelentene a neurális hálózatnak. Ez túlságosan nagy, így a hálózat biztosan nem lenne tanítható. Első lépésben csökkentettük a jellemzővektor méretét. A jellemzőket hengeres koordináta-rendszerbe konvertáltuk, és csak a legrelevánsabb komponenseket tartottuk meg. Második lépésben a jellemzővektorok számát csökkentettük. Bevezettünk egy leginkább logaritmus-szerűnek nevezhető mintavételezést a 200 jellemzővektorra 19-re csökkentve a vektorok számát (8. ábra).

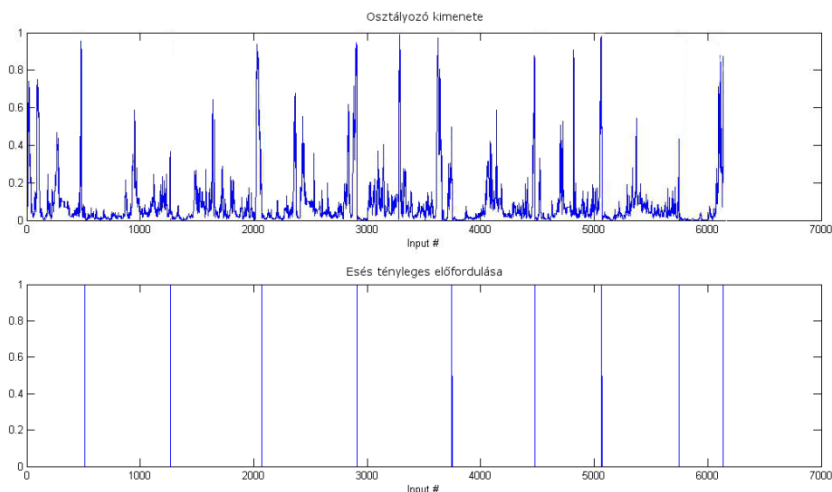


8. ábra: Mintavételezési eljárás

A leírt változtatások bevezetésével a neurális hálózat bemeneti vektorának méretét az elfogadhatatlanul magas 660-ról sikerült 266-osra csökkenteni. Ez még mindig meglehetősen nagyméretű, azonban már kezelhető.

Előzetes eredmények

Az alapvető elképzelés működőképességét egy korlátozott képességű rendszer megvalósításával igazoltuk. Az adatbázisunkból kiválasztottunk kellő számú álló helyzetből induló esést tanítási és tesztelési céllal. Ezek segítségével betanítottunk a neurális hálózatot, majd a tanított hálót teszteltük. A rendszer az összes esést jelezte, bár magas volt a hamis riasztások aránya (9. ábra). Ezzel igazoltuk az alapvető elképzelés helyességét.



9. ábra: Teszteredmények

További kutatás

Jelenleg tesztekkel folytatunk a teljes képességű rendszer optimális struktúrájú neurális hálózatának meghatározása érdekében. Ha ezt a lépést sikerült megvalósítani, növelnünk, diverzifikálnunk kell az esés adatbázisunkat. E szükséges tevékenységek végeztével be fogjuk tanítani a meghatározott struktúrájú neurális hálózatot a kiválasztott esés-adatbázis segítségével. Ezt követi majd a valós körülmények közötti tesztelés.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát a Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen c. TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR 2010-0002 pályázat segíti.

A kutatómunka a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal (NKTH) és az „AAL Joint Programme” (AAL-2008-1, "CARE - Smart Private Homes for Elderly Persons" projekt) támogatásával készült.

Irodalom

- [1.] Duthie, E (1989): „Falls” Medical Clinics of North America, April-June 1989, pp. 1321-1335
- [2.] Fu, Z., et al (2008): „An Address-Event Fall Detector for Assisted Living Applications” IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, June 2008, vol. 2 no 2, pp. 88-96
- [3.] Noury, N. et al (2007): „Fall detection – Principles and Methods” Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS Cité Internationale, Lyon, France, August 23-26, 2007, pp. 1663-1666
- [4.] Anderson, D. et al (2006): „Recognizing Falls from Silhouettes” Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, New York City, USA, August 30-September 3, 2006, pp. 6388-6391
- [5.] Juang, C.-F. and Chang, C.-M. (2007): „Human Body Posture Classification by a Neural Fuzzy Network and Home Care System Application” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans, vol. 37, no 6, November 2007, pp. 984-994
- [6.] Nyan, M. N., Tay, F.E.H., Mah, M.Z.E. (2008): „Application of motion analysis system in pre-impact fall detection” Journal of Biomechanics 41 pp. 2297-2304
- [7.] Lichtsteiner, P., Posch, C. and Delbruck, T. (2008): „A 128×128 120 dB 15 μs Latency Asynchronous Temporal Contrast Vision Sensor” IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 43, no. 2, February 2008, pp. 566 576