

**Alkalmazott nagysebességű analogikai algoritmusok
célpontkövetésre és kézírás-szegmentálásra**

Ph.D. disszertáció tézisei

Tímár Gergely

**Magyar Tudományos Akadémia
Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete
Analogikai és Neurális Számítások Kutatólaboratórium**

*Tudományos vezető:
Dr. Rekeczky Csaba, Ph. D*

Budapest, 2006

„Az emberiség idejének még a legelején járunk. Nem meglepő, hogy problémákkal küszködünk, de még több tízezer év van hátra a jövőből. A feladatunk az, hogy megtegyük amit tudunk, megtanuljuk amit tudunk, javítsunk a megoldásokon és adjuk őket tovább.”

Richard Feynman

Bevezetés, kitűzött feladatok

Az utóbbi tíz év során a kutató közösség egyre szélesebb körben kezdte használni a celluláris nemlineáris hálózatokat (Cellular Nonlinear Network – CNN), és főleg a CNN Univerzális Gépeket (CNN Universal Machine) különböző feladatok megoldására annak érdekében, hogy a paradigma alkalmazhatóságát a lehető legszélesebb problémakörben kipróbálják. A formális modell egyre pontosabb és gazdagabb lett (Celluláris Hullám Számítógép), ugyanakkor a fizikai megvalósítás is egyre gazdagabbá válik (optikai, emulált digitális, FPGA alapú stb.), mindeközben megszületett a klasszikus processzorral és képérzékelővel kombinált „Bi-i” számítógép is. Ezzel párhuzamosan folyamatosan fejlődtek a CNN-UM elvet VLSI szilícium félvezető csipekben implementáló eszközök, a kezdeti 20x22 felbontástól a napjainkban elérhető 128x128 ill. a közeljövőben forgalomba kerülő 176x144 felbontásig, valamint a többbrétegű CNN hálót is futtatni képes változatokig.

Kutatásaim kezdetekor világos volt számomra, hogy a diszciplína és az alkalmazott eszközök elérték azt a fejlettségi szintet, ahol már olyan problémák támadhatók meg, amik korábban egyáltalán nem, vagy csak nehézkesen voltak kezelhetők. Disszertációmban két ilyen területen alkotott algoritmusokat mutatok be: az egyik több, sebesen mozgó objektum együttes követése, a másik pedig az offline kézírás-felismerés előfeldolgozási problémái. Mindkét problémakörben alkotott algoritmusaim analogikai algoritmusok, vagyis párhuzamos analóg és logikai műveleteket egyaránt alkalmaznak.

A több célpontos követés során síkban gyorsan mozgó objektumokat úgy kell követni, hogy a rendszer minden pillanatban képes legyen az egyes objektumok kinematikai adatait (pozíció, sebesség és gyorsulás) megadni, valamint az esetleges takarási és megvilágítási hibákat robusztusan kezelni. Ez egy ember számára meglehetősen egyszerű feladat, de a korábbi számítógépes programok csak mérsékelt eredményeket voltak képesek felmutatni. Az általam kidolgozott módszernél erőteljesen támaszkodtam a kutatócsoportunknál a retina modellezés során felhalmozott tudásra, nevezetesen arra, hogy a retinában a különböző tulajdonságok és szempontok szerint szűrt bemeneti kép párhuzamosan dolgozódik fel, és csak egy meglehetősen legegyszerűsített és tömören kódolt információ továbbítódik az agy magasabb szintű látóterületei felé. A disszertáció x. fejezetében bemutatott algoritmusban ezt az elvet használom fel arra, hogy a követés alapjául szolgáló mérések a lehető legjobbak legyenek, nagyban megnövelve így a rendszer pontosságát. Szintén ennek az elvnek a használata tette lehetővé azt is, hogy a rendszer viszonylag egyszerűen, futás közben tudjon adaptálódni a környezeti viszonyokhoz, ezzel biztosítva a robusztus működést.

Az általános témájú kézzel írt szövegek írófüggetlen felismerése mindmáig megoldatlan probléma, bár jelentős igény lenne ilyen rendszerekre. A feladat különösen összetett offline esetben, amikor a bemenetet már megírt oldalak beszkenelt képei jelentik. Kutatásaim során olyan módszert alkottam, amelynek segítségével a bemeneti írásképet folyamatosan kisebb egységekre bontva, oldalról sorokra, sorból szavakra, és esetleg szavakból betűkre lehet bontani, írótól függetlenül (vagyis a rendszer nem egyetlen felhasználó írásának feldolgozását célozza). A szavakat alkotó betűsorozat már nagyon jó bemenet lehet a felismerést követező fázisban, ahol a tényleges betű és szó felismerés történik. A kidolgozott módszerrel arra is lehetőség nyílik, hogy a szó felismerése és szegmentálása egymással szoros kapcsolatban, a nyelv szabályait és a szöveg szemantikáját figyelembe véve történjen, ami jelentősen javítja a felismerés pontosságát. Ezt a kérdést Karacs Kristóf doktorandusz kollégám vizsgálta sikerrel.

A vizsgálatok módszerei

Kutatásaim során sok diszciplinához tartozó eszköztárat alkalmaztam. A követő algoritmusok tervezésénél felhasználtam a radar követési algoritmusokat illetve azon elemzések eredményeit, amelyek hatékonyságukat taglalják. Az algoritmusok hatékonyságát algoritmuselméleti módszerekkel vizsgáltam, ezzel is összemérhetővé téve őket már publikált módszerekkel. A CNN-UM-re tervezett algoritmusokban felhasználtam az irodalomban korábban publikált template osztályokat és a róluk felhalmozódott széleskörű tapasztalatokat. A kiválasztott templateknél fontos szempont volt, hogy a laborban hozzáférhető fizikai CNN-UM megvalósításokon is megbízhatóan futtathatók legyenek, biztosítva ezzel az algoritmusok azonnali gyakorlati alkalmazhatóságát. Képekkel foglalkozó algoritmusoknál támaszkodtam a bináris matematikai morfológia eredményeire és azok CNN-UM megvalósításaira.

Az általam tervezett algoritmusokra jellemző, hogy a hatékonyság növelésének érdekében felhasználnak CNN-UM és hagyományos digitális megoldásokat is ezzel elérve, hogy mindkét processzoron az adott architektúrán leghatékonyabban végrehajtható lépések fussanak. Az algoritmusokat a fejlesztés során Intel x86 architektúrájú PC-ken a Matlab programcsomagot felhasználva és a MatCNN szimulátorral kiegészítve teszteltem, majd az ACE-BOX valamint a Bi-i rendszereken futtattam. Az előbbiben 64x64-s Ace4k, az utóbbiban 128x128-as Ace16k analóg/bináris (mixed-mode) CNN-UM található. Ezen rendszerekhez tartozó szoftver környezet tervezésében és fejlesztésében folyamatosan részt vettem.

Új tudományos eredmények

1. Téis: Adaptív, több-célpontot követő algoritmus és rendszer

Videófolyamok feldolgozásánál gyakori részfeladat tetszőleges sebességgel mozgó objektumok azonosítása és követése nagy megbízhatósággal és sebességgel. Ezekben a feladatokban nem csak az objektumok kiszűrése és mozgásának modellezése jelent komoly kihívást, hanem az is, hogy a változó körülmények miatt szükséges lehet a feldolgozó algoritmusok paramétereinek hangolása működés közben. Ezen problémának megoldására alkottam meg egy algoritmust, amely az objektumszűrést hatékonyan végzi el CNN-UM architektúrájú processzorokon, valamint egyszerűvé teszi a paraméterek állítását a konzisztens kimenet biztosításának érdekében. Az algoritmust az irodalomban legjobbként leírt ún. adatasszociációs algoritmusok egyikével házasítva megalkottam egy olyan egységes rendszert, amely hatékonyan és robusztusan képes több objektum egyidejű követésére. Publikációk: [1],[11],[12],[16]

Kidolgoztam egy olyan algoritmust, amely hatékonyan képes videó folyamatokban mozgó célpontokat követni, azok kinematikai tulajdonságait kinyerni és osztályozni

Az algoritmus - ötletet merítve az emlős retina működéséből - több párhuzamos csatornán nyeri ki a feladat szempontjából fontos képi jellemzőket, azokat egy általam kidolgozott speciális eljárással kombinálja, majd az eredményt szűri és ezen a szűrt képen megkeresve a követett objektumokat optimális adat-asszociációs algoritmusokkal kinyeri az objektumok kinematikai tulajdonságait. Az eljárás lehetőséget ad arra is, hogy a mozgó objektumok morfológiai és kinematikai tulajdonságai alapján szűrjük a követni kívánt objektumokat.

Megmutattam, hogy az algoritmus alkalmazásával átlagos értelemben jobb objektum kiemelés lehet elérni, mint külön-külön az egyes csatornákon

A különböző bemeneti szűrések hatására keletkező kép „csatornák” eredményeit egy általam kidolgozott módszer szerint (paraméterezhető módon) kombinálom. Megmutattam, hogy a kombinált képen futtatott adatasszociációs algoritmusok eredménye átlagos értelemben jobb, mint az egyes csatornákon azonos módon futtatottaké.

Megmutattam, hogy a követés végeredményének visszacsatolásával kedvezően befolyásolható a teljes követő rendszer pontossága.

A követési eredményeken statisztikai és kvalitatív elemzéseket végezve olyan jellemzőket nyertem ki, amelyek alapján a követés jósága megítélhető. Ennek függvényében új módszert adtam arra, hogyan lehet a követő algoritmus paramétereit úgy hangolni, hogy a követési minőség javuljon.

2. Analogikai szegmentációs algoritmusok offline kézírás-felismerési feladatokhoz

Az offline kézírás-felismerés egyik fontos részfeladatai a szegmentációs problémák: sorok, szavak és esetleg betűk szétválasztása a tényleges felismerés megkezdése előtt. Minél pontosabb a szegmentálás, annál könnyebb és pontosabb a tényleges felismerés. Kidolgoztam olyan analogikai algoritmusokat, amelyek segítségével hatékonyan meg lehet keresni egy kézzel írt oldal képén a sorokat és a szavakat, majd – megfelelő minőségű kézírás esetén – a szavakon belül a betűket. Az algoritmusok előnyösen aknázzák ki a CNN-UM architektúrában rejlő hullámszámítási lehetőségeket. Publikációk: [3], [15]

Több módszert dolgoztam ki kézzel írt oldalak sorokra, és sorok szavakra szegmentálására

Megalkottam egy hatékony algoritmust, melynek segítségével kézzel írt oldalakat sorokra lehet bontani, enyhén ferde és görbe sorok esetén is. Megmuttam hogyan lehet a sorokat megbízhatóan szavakra bontani a további szegmentálás és felismerés céljából.

Új algoritmust alkottam kézzel írt szavak betűkre szegmentálására és hullámszámítási megoldást adtam adott távolságon belül lévő pontok párhuzamos összekötésére

Kidolgoztam egy szószegmentálási algoritmust, amely nem támaszkodik tartalmi információra a szavak esetében, így teljesen ismeretlen szövegeknél és nyelveknél is egyaránt alkalmazható. A szegmentálás során megalkottam egy hullámszámítás-alapú eljárást is, amely alkalmazásával lehetőség nyílik egy képen adott távolságon belüli pontok összekötésére. Az algoritmus nagy előnye a hagyományos módszerekhez képest, hogy futási ideje független a pontok számától és azok elhelyezkedésétől.

Az eredmények alkalmazási területei

A dolgozatban leírt algoritmusok mindegyike valós alkalmazási területeken felmerülő problémákra kínál megoldást.

Demonstráltam, hogy az objektumkövető algoritmus (*1. tétel*) futási sebessége és követési pontossága lehetővé teszi, hogy vezérlési feladatokban adatokat szolgáltatson mozgó egységeknek. Ennek bemutatására kollégáimmal egy lézeres célzó-követő rendszert alkottunk, amely nagy sebességgel és pontossággal képes több célpontot egyidejűleg követni és lézerral megcélozni.

A több célpontos követési algoritmus szintén beépült egy olyan rendszerbe, amelynek feladata ipari létesítmények bel- ill. kültéri felügyelete. Napjainkban jelentős a piaci igény olyan komplex felügyeleti rendszerekre, amelyek leveszik a felügyelő személyzet válláról az unalmas és könnyen elhibázható feladatokat, viszont adott szabályok szerint riasztanak, ha szükséges. Ilyen körülmények között számos előnyt jelent az algoritmus használata:

- lehetővé válik a riasztás komplex mozgási sémák alapján (pl. a mozgás pályája, iránya és sebessége, a mozgást végző objektumok száma)
- az objektumok azonosításában felhasználhatók a kinematikai információk, amely sok esetben jelentősen megkönnyíti a feladatot
- az objektumkövetést végző rendszer folyamatosan predikciókat ad az objektumok várható elhelyezkedésére és sebességére vonatkozóan, amelyet felhasználva a későbbi feldolgozási feladatok is optimalizálhatók

A 2. tételben tárgyalt, a kézírás-felismerés előfeldolgozási lépéseit megoldó algoritmusokat szintén a későbbi könnyű felhasználhatóság figyelembe vételével terveztem. Ez azt jelenti, hogy az alkalmazott template-k mindegyike futtatható valamely piacon lévő VLSI CNN-UM csipen, és az algoritmusok szempontjából nem jelent hátrányt az esetleges alacsony felbontás (pl. 128x128 az ACE16k esetében). A kézzel írt karakterek és szavak felismerési problémáin dolgozó doktorandusz kollégámmal szorosan együttműködtem, hogy a rendszerek jól egymáshoz illeszthetők legyenek, és együtt egy koherens egészet alkossanak.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni *Roska Tamás professzornak* a kutatásaimban és napi munkámban nyújtott segítségét, irányítását és támogatását. Hálás vagyok *Dr. Rekeczky Csabának*, hogy bevezetett a CNN-ek világába, továbbá a sok gondolatébresztő beszélgetésért, a számtalan ötletért, amelyekből néhány a disszertációmban leírt algoritmusokká fejlődött; valamint az izgalmas utazásokért. Szeretnék köszönetet mondani: *Dr. Bálya Dávidnak* a disszertáció korábbi verziójára írt részletes és építő megjegyzéseierért, valamint *Cserey Györggyel* együtt az elgondolkodtató és szórakoztató – olykor távoli időzónákat és kontinenseket is átívelő – beszélgetésekért; *Dr. Szatmári Istvánnak* a hasznos meglátásokért és gyakorlati tanácsokért, valamint *dr. Gál Viktornak* a biológiában nyújtott segítségéért és azokért a szokatlan viccekért, melyek mindig megnevettettek amikor szükség volt rá.

Sok köszönettel tartozom a családomnak: a *szüleimnek*, akik bátorítottak, hogy beiratkozzam a doktori iskolába, és végig mellettem álltak az évek során; a húgomnak *Orsinak*, akire mindig számíthattam, amikor szükség volt rá, valamint *Deli Tamásnak*, aki sokat segített a kézirat lektorálásával és megjegyzéseivel.

Továbbá szeretnék még köszönetet mondani kollégáimnak, akikkel ötleteket és kérdéseket vitattunk meg, valamint különböző projekteken dolgoztunk együtt: *Dr. Zarándy Ákosnak*, *Dr. Szolgay Péternek*, *Dr. Szirányi Tamásnak*, *Binzberger Viktornak*, *Horváth Istvánnak*, *Gyimesi Tibornak*, *Dr. Török Leventének*, *Karacs Kristófnak*, *Dr. Kék Lászlónak*, *Dr. Földesy Péternek*, *Dr. Orzó Lászlónak*, *Szlávik Zoltánnak* és *Jónás Péternek*.

Hálás vagyok *Keserű Katalinnak* és *Kék Gabriellának* segítségükért, amellyel a bürokrácia útvesztőiben irányítottak.

Végezetül szeretnék elnézést kérni azoktól, akiket véletlenül kihagytam volna. Nem volt szándékos.

Publikációs lista

A szerző folyóiratbeli publikációi

2005

- [1] **G. Timar**, Cs. Rekeczky: “A real-time multitarget tracking system with robust multichannel CNN-UM algorithms”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I*, Vol. 52(7), pp. 1358 – 1371, July 2005

2004

- [2] Cs. Rekeczky, I. Szatmari, D. Balya, **G. Timar**, A. Zarandy: “Cellular multiadaptive analogic architecture: a computational framework for UAV applications”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I*, Vol. 51(5), pp. 864 – 884, May 2004

2003

- [3] **G. Tímár**, K. Karacs, Cs. Rekeczky, “Analogic Preprocessing and Segmentation Algorithms For Off-line Handwriting Recognition”, *Journal of Circuits, Systems and Computers*, Vol. 12(6), pp. 783-804, Dec. 2003

A szerző konferencia publikációi

2005

- [5] Cs. Rekeczky, **G. Timar**: „Multiple Laser Dot Detection and Localization within an Attention Driven Sensor Fusion Framework”, *IEEE International Workshop On CNN Theory and Applications CNNA 2005*, Vol 1., May 2005

2004

- [6] D. Balya, **G. Timar**, I. Szatmari, Cs. Rekeczky: “Efficient off-line feature selection strategies for on-line classifier systems”, *IEEE International Joint Conference on Neural Networks IJCNN 2004*, Vol. 1, July 2004
- [7] Cs. Rekeczky, **G. Timar**, D. Balya, I. Szatmari, A. Zarandy: “Topographic and non-topographic neural network based computational platform for UAV applications” *IEEE International Joint Conference on Neural Networks IJCNN 2004*, Vol. 3, July 2004, pp:1763 - 1768
- [8] D. Balya, **G. Tímár**, Gy. Cserely, T. Roska: “A New Computational Model for CNN-UMs and its Computational Complexity”, *IEEE International Workshop On CNN Theory and Applications CNNA 2004*, Vol 1., July 2004

- [9] **G. Tímár**, D. Balya: "Regular small-world cellular neural networks: key properties and experiments" International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS 2004. Vol. 3, May 2004 pp. III - 69-72

2003

- [10] D. Bálya, **G. Tímár**, I. Szatmári, and Cs. Rekeczky: "Classification of Spatio-Temporal Features: the Nearest Neighbor Family", *IEEE European Conference on Circuit Theory and Design ECCTD 2003*, Krakow, Sept., 2003
- [11] **G. Tímár**, Cs. Rekeczky, L. Orzó and Sz. Tőkés: " Sensing-Computing-Actuation in a Multi-Target Tracking Framework", *IEEE European Conference on Circuit Theory and Design ECCTD 2003*, Krakow Sept., 2003
- [12] **G. Tímár**, D. Bálya, I. Szatmári, and Cs. Rekeczky: „Feature Guided Visual Attention with Topographic Array Processing and Neural Network-Based Classification”, *Proc. International Joint Conference on Neural Networks*, Portland, USA, July 20-24 2003.
- [13] Szatmári, D. Bálya, **G. Tímár**, Cs. Rekeczky, and T. Roska: "Multi-Channel Spatio-Temporal Topographic Processing for Visual Search and Navigation", *SPIE Microtechnologies for the New Millennium 2003*, Gran Canaria May, pp. 297-306
- [14] Cs. Rekeczky, D. Bálya, **G. Tímár**, and I. Szatmári: "Bio-Inspired Flight Control and Visual Search with CNN Technology", *IEEE International Symposium on Circuits and Systems ISCAS 2003*, Bangkok May, pp.III-774-777

2002

- [15] **G. Tímár**, K. Karacs, Cs. Rekeczky, "Analogic Preprocessing and Segmentation Algorithms For Off-line Handwriting Recognition", *Proc. 7th IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and their Applications*, Frankfurt am Main, Germany, July 2002., pp. 407-414
- [16] Cs. Rekeczky, **G. Tímár**, and Gy. Cserey, „Multi-Target Tracking With Stored Program Adaptive CNN Universal Machines”, *Proc. 7th IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and their Applications*, Frankfurt am Main, Germany, July 2002., pp. 299-306

A disszertáció témaköréhez kapcsolódó publikációk jegyzéke

A CNN technológiához kapcsolódó publikációk

- [1] L. O. Chua and L. Yang, "Cellular Neural Networks: Theory and Applications", *IEEE Trans. on Circ. & Syst.*, Vol. 35, pp. 1257-1290, 1988.
- [2] T. Roska and L. O. Chua, "The CNN Universal Machine", *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, Vol. 40, pp. 163-173, 1993.
- [3] L. O. Chua, and T. Roska, "The CNN Paradigm", *IEEE Trans. on Circuits and Systems.*, Vol. 40, pp.147-156, 1993.
- [4] L. O. Chua and T. Roska, "Cellular Neural Networks and Visual Computing" *Cambridge University Press*, Cambridge, UK 2002.
- [5] L. O. Chua "CNN: A Paradigm for Complexity", *World Scientific Pub. Co.*, 1998.
- [6] L. O. Chua, "CNN: a Vision of Complexity ", *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, Vol. 7, No. 10, pp. 2219-2425, 1997.
- [7] T. Roska „Computational and Computer Complexity of Analogic Cellular Wave Computers", *Proc. IEEE Intl. Workshop on Cellular Neural Networks and their Applications*, 2002. pp. 323-335.
- [8] G. Liñán, S. Espejo, R. Domínguez-Castro, A. Rodríguez-Vázquez, "Ace4k: An analog I/O 64×64 visual microprocessor chip with 7-bit analog accuracy", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, Vol. 30, No. 2-3, pp.: 89-116, 2002
- [9] A. Rodríguez-Vázquez, G. Liñán, L. Carranza, E. Roca, R. Carmona, F. Jiménez, R. Domínguez-Castro, and S. Espejo, "ACE16k: The Third Generation of Mixed-Signal SIMD-CNN ACE Chips Toward VSoCs", *IEEE Transactions On Circuits and Systems*, Vol. 51, No. 5, pp. 851-863, 2004.
- [10] S. Espejo, R. Carmona, R. Domínguez-Castro and A. Rodríguez-Vázquez "A VLSI Oriented Continuous-Time CNN Model", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, Vol. 24, No. 3, pp. 341-356, 1996.
- [11] Cs. Rekeczky, T. Roska, and A. Ushida, "CNN-based Difference-controlled Adaptive Nonlinear Image Filters", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, Vol. 26, pp. 375-423, July-August 1998.
- [12] Á. Zarándy: "The Art of CNN Template Design", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, Vol. 27, No. 1, pp. 5-23, 1999

- [13] T. Kozek, T. Roska and L. O. Chua: “Genetic Algorithm for CNN Template Learning”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems–I: Fundamental Theory and Applications*, Vol. 40, pp. 392-402, June 1993.
- [14] L. Nemes, L. O. Chua, and T. Roska: “Implementation of Arbitrary Boolean Functions on the CNN Universal Machine”, *International Journal of Circuit Theory and Applications*, Vol. 26, No. 6, pp. 593-610, 1998.
- [15] H. Harrer and J. A. Nossek, "Discrete-time Cellular Neural Networks", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, Vol. 20, pp. 453-468, 1992.
- [16] T. Roska and L. Kék, “CNN Software Library (Templates and Algorithms), Version 7.2”, *Analogical and Neural Computing Laboratory, Computer and Automation Research Institute, Hungarian Academy of Sciences (MTA SZTAKI), DNS-CADET-15, Budapest, 1998.*
- [17] MatCNN is available from: <http://lab.analogic.sztaki.hu/Candy/matcnn.html>
- [18] UMF Diagrams of CNN Algorithms and Specifications:
http://cnn-technology.itk.ppke.hu/UMF_Library.pdf
- [19] Analogic Computers Ltd. <http://www.analogic-computers.com>

Többcélpontos követéshez kapcsolódó publikációk

- [20] V.S.S Hwang, “Tracking feature points in time-varying images using an opportunistic selection approach”, *Pattern Recognition*, Vol. 22, No. 3, pp. 247-256, 1989.
- [21] K. Sethi and R. Jain, “Finding trajectories of feature points in a monocular image sequence”, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 9., No. 1, pp.56-73, 1987.
- [22] B. K. P. Horn and B.G. Schunck, “*Determining optical flow*”, *Artificial Intelligence*, Vol. 17, pp. 185-203, 1981.
- [23] H.H. Nagel, “Displacement vectors derived from second order intensity variations in image sequences”, *Computer Vision Graphics and Image Processing*, Vol. 21., No. 1, pp. 85-117, 1983.
- [24] S. Blackman and R. Popoli, “Design and Analysis of Modern Tracking Systems”, Artech House, 1999.
- [25] Y. Bar-Shalom W.D. Blair ed., “Multitarget-Multisensor Tracking: Applications and Advances, Vol. III”, Artech House 2000.
- [26] B. Roska and F.S Werblin, “Vertical Interactions across Ten Parallel Stacked Representations in Mammalian Retina”, *Nature* 410 (2001) pp 583-587.
- [27] D. Marr, “Vision”, Freeman Publishers, 1982.

- [28] R. Jonker R. and A. Volgenant, “A Shortest Augmenting Path Algorithm for Dense and Sparse Linear Assignment Problems”, *J. Computing*, Vol. 38, pp. 325-430, 1987.
- [29] D.P. Bertsekas, “The Auction Algorithm: a Distributed Relaxation Method for the Assignment Problem”, *Annals of Operation Research: special issue on parallel optimization*, Vol. 14, pp. 105-123, 1988.
- [30] M. Balinski, “Signature Methods for the Assignment Problem”, *Operations Research*, Vol. 33, No. 3, pp. 527-536, May 1985.
- [31] Y. Bar-Shalom and E. Tse, “Tracking in a cluttered environment with probabilistic data association”, *Automatica*, Vol. 11, pp. 451-460, 1975.
- [32] J. Munkres, “Algorithms for the Assignment and Transportation Problems”, *J. Soc. Indust. Applied Math*, Vol. 5, No. 1, pp. 32-38, 1957.
- [33] Jain, A. K., “Fundamentals of Digital Image Processing”, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- [34] Cs. Rekeczky, I. Szatmári, D. Bálya, G. Tímár, and Á. Zarándy, “Cellular Multi-Adaptive Analogic Architecture: A Computational Framework For UAV Applications”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I*, Vol. 51, No. 5, pp. 864-884, 2004
- [35] T. DeMarco and T. Lister, “Peopeware – Productive Projects and Teams”, 2nd ed., Dorset House Publishing, New York, NY, 1999.
- [36] O. E. Drummond “Methodology for Performance Evaluation of Multitarget Multisensor Tracking”, *Signal and Data Processing of Small Targets*, 1999, Proc. SPIE, Vol. 3809, pp. 355-369

Offline kézírásfelismeréshez kapcsolódó publikációk

- [37] Ertugrul Saatci and Vedat Tavsanoglu: “Multiscale Handwritten Character Recognition Using CNN Image Filters”, *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Neural Networks*, IJCNN 2002, Honolulu, 2002.
- [38] Tamás Szirányi and József Csicsvári: “High-Speed Character Recognition Using a Dual Cellular Neural Network Architecture (CNND)”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, Vol. 40, pp.223-231, 1993.
- [39] L. Schomaker and E. Segers: „Finding features used in the human reading of cursive handwriting”, *International Journal On Document Analysis And Recognition*, Vol. 2, pp.13-18, 1999.
- [40] G. Lorette: „Handwriting recognition or reading? What is the situation at the dawn of the 3rd millenium?”, *International Journal On Document Analysis And Recognition*, Vol. 2, pp.2-12, 1999.

- [41] T. Steinherz, E. Rivlin and N. Intrator: Offline cursive script recognition – a survey, *International Journal On Document Analysis And Recognition*, Vol. 2, pp.90-110, 1999.
- [42] G. Kim, V. Govindaraju and S. Shrihari: An architecture for handwritten text recognition systems, *International Journal On Document Analysis And Recognition*, Vol. 2, pp. 37-44, 1999.
- [43] A. El-Yacoubi, M. Gilloux, R. Sabourin and C.Y Suen: „An HMM-based approach for offline unconstrained handwritten word modeling and recognition”, *IEEE Transactions On Pattern Matching And Machine Intelligence*, Vol. 21, No. 8, pp.752-760, 1999.
- [44] S. N. Shrihari et al.: „Analysis of Textual Images Using The Hough Transform”, *Machine Vision and Applications*, Vol. 2, pp.141-153, 1989.
- [45] Y. Nakajima, S. Mori, S. Takegami and S. Sato: „Global methods for stroke segmentation”, *International Journal On Document Analysis And Recognition*, Vol. 2, pp. 19-23, 1999.
- [46] Il-Seok Oh and C.Y. Suen: „Distance features for neural network-based recognition of handwritten characters”, *International Journal On Document Analysis And Recognition*, Vol. 1, pp.73-88, 1998.
- [47] P. Gader, M. Mohamed and J.H. Chiang: „Comparison of Crisp and Fuzzy Character Neural Networks in Handwritten Word Recognition”, *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, Vol. 3, pp. 357-363, 1995.
- [48] M. Mohamed and P. Gader: „Generalized Hidden Markov Models – Part II: Application to Handwritten Word Recognition”, *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, Vol. 8, pp. 82-94, 2000.
- [49] Chiang: „A hybrid neural network model in handwritten word recognition”, *Neural Networks*, Vol. 11, pp.337-346, 1998.
- [50] Horváth G., Dunay R., Pataki B., Strausz Gy., Szabó T., Várkonyiné Kóczy A.: Neurális hálózatok és műszaki alkalmazásaik, Műegyetemi Kiadó, 1998.
- [51] MATLAB (4. és 5. Verzió). Numerikus módszerek, grafika, statisztika, eszköztárak, Typotex Kft. Elektronikus Kiadó, 1999.
- [52] Postal Service tests handwriting recognition system, (1999)
<http://www.govexec.com/dailyfed/0299/020199k1.htm>
- [53] A. Senior and A.J Robinson: „An Off-line Cursive Handwriting Recognition System”, *IEEE Transactions On Pattern Matching And Machine Intelligence*, Vol. 20, pp. 309-321, 1998.
- [54] A. Senior LOB Database: ftp://svr-ftp.eng.cam.ac.uk/pub/reports/Senior_tr105.ps.Z
- [55] Y. Chen and J. Wang: „Segmentation of Single- or Multiple-Touching Handwritten Numeral String Using Background and Foreground analysis”, *IEEE Transactions On Pattern Matching And Machine Intelligence*, Vol. 22, pp.1304-1317, 2000.

- [56] Sayre: „Machine Recognition of Handwritten Words: A Project Report”, *Pattern Recognition*, Vol. 5, No. 3, pp. 213-228, 1973.
- [57] R.C Gonzales and R.E Woods: *Digital Image Processing*, Boston, Addison-Wesley, 1992.
- [58] Cs. Rekeczky, L. Chua : „Computing with Front Propagation: Active Contour and Skeleton Models in Continuous-Time CNN”, *Journal of VLSI Signal Processing*, Vol. 23, pp. 373-402, 1999.
- [59] ParaScript Inc. AddressScript Literature:
<http://www.parascript.com/objects/addressscript.pdf>
- [60] IBM Document Analysis and Recognition:
<http://www.almaden.ibm.com/cs/DARE/homepage.html> and
<http://www.almaden.ibm.com/cs/dare.html>
- [61] B. Chandler, Cs. Rekeczky, Y. Nishio, and A. Ushida: “CNN Template Optimization by Adaptive Simulated Annealing”, *Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA'96)*, pp. 445-448, Kochi, Japan, October 1996.
- [62] T. Roska and L. O. Chua, “The CNN Universal Machine: An Analogic Array Computer”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems–II: Analog and Digital Signal Processing*, Vol. 40, pp. 163-173, March 1993.
- [63] P. Kinget and M. Steyaert. “Analog VLSI Integration of Massive Parallel Processing Systems”, Ed.Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [64] P.P Civallierie and M. Gilli, “On Stability Of CNNs”, *Journal of VLSI Signal Processing*, Vol. 23, pp. 429-437, 1999.
- [65] K. R. Crouse and L. O. Chua, "Methods for Image Processing in Cellular Neural Networks: A Tutorial", *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, Vol. 42, pp. 583-601, October 1995.
- [66] P. Thiran, K. R. Crouse, L. O. Chua, and M. Hasler, "Pattern Formation Properties of Autonomous Cellular Neural Networks", *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, Vol. 42, pp. 757-774, 1995.
- [67] Tímár Gergely, Karacs Kristóf, “Offline-kézírásfelismerés hibrid neurális architektúrával”, XXV. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Eger, 2001.
- [68] Morita M., Bortolozzi F., Facon J. and Sabourin R., „Morphological approach of handwritten word skew correction”, X SIBGRAPI'98, International Symposium on Computer Graphics, Image Processing and Vision, Rio de Janeiro, Brazil, Oct. 1998.
- [69] Graham R. L., Yao F. F.: „Finding the Convex Hull of a Simple Polygon”, *J. Algorithms*, Vol. 4, pp. 324-331, 1983.

- [70] Karacs Kristóf, „Kézírás-felismerés”, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2001.
- [71] S. Edelman, T. Flash, and S. Ullman., „Reading cursive handwriting by alignment of letter prototypes”, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 5, pp. 303-331, 1990.
- [72] M. Cheriet and C. Y. Suen, „Extraction of key letters for cursive script recognition”, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 14, pp.1009-1017, 1993.
- [73] M. Cote, E. Lecolinet, M. Cheriet, and C. Y. Suen, „Automatic reading of cursive scripts using human knowledge”, *Proceedings Of The Int. Conf. on Document Analysis and Recognition*, pp. 107-111, 1997.
- [74] R. Plamondon and S. Shrihari: “On-Line and Off-Line Handwriting Recognition: A Comprehensive Survey”, *IEEE Transactions On Pattern Matching And Machine Intelligence*, Vol. 22, pp. 63-84, 2000.
- [75] S. Madhvanath and V. Govindaraju: “The Role of Holistic Paradigms in Handwritten Word Recognition”, *IEEE Transactions On Pattern Matching And Machine Intelligence*, Vol. 23, pp.149-164, 2001.