Az orvosi képalkotás klasszikus és új informatikai megoldásai

Dr. Juhász Zoltán[1], Katona Melinda[4], Dr. Bodnár Péter[4], Dr. Tóth Eszter[2], Dr. Bozsik Bence[2], Dr. Bencsik Krisztina[2], Dr. Nyúl László[4], Prof. Dr. Vécsei László[2,5], Dr. Kincses Zsigmond Tamás[2,3]

[1] Pannon Egyetem, Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék, Veszprém
[2] Szegedi Tudományegyetem, Neurológiai Klinika, Szeged
[3] Szegedi Tudományegyetem, Radiológiai Klinika, Szeged
[4] Szegedi Tudományegyetem, Képfeldolgozó és Számítógépes Grafikai Tanszék, Szeged
[5] MTA-SZTE Neuroscience Research Group, Szeged, Hungary

Az informatika fejlődése és a kvantitatív képkiértékelő módszerek elterjedése egyre nagyobb terhet ró a radiológiai diagnosztikus egységekre. A felmerülő problémák között a hardveres háttér megteremtése, az analízis algoritmusok és szoftverek fejlesztése, valamint a jól képzett humán erőforrás egyformán fontos. Dolgozatunkban bemutatunk egy adatanalízis pipeline-t, melyet a sclerosis multiplex MRI felvételeinek az értékelésére fejlesztettünk. Megmutatjuk, hogy a párhuzamosítható adatfeldolgozás felhőben kialakított virtuális infrastruktúrán futtatható. Egy hasonló cloud alapú rendszer kiépítése az országos igényeket is ki tudná szolgálni, ezzel jelentősen csökkentve a hardverköltségeket.

The rapid development of information technology and the use of the qualitative analysis approaches significantly increased the burden on the radiology service providers. The ever-growing cost of IT hardware, the development of new analytic algorithms and the well-trained human resources all could be identified as issues to be tackled. In the current manuscript, we demonstrate our data analysis pipeline developed for the analysis of the MRI data of Multiple Sclerosis patients. We show that the parallel processing of the MRI data is feasible on a cloud based virtual IT infrastructure. The establishment of such a cloud-based system could potentially satisfy the national demands while reducing hardware costs.

BEVEZETÉS

Az informatika fejlődése nélkül nem léteznének a ma rutinszerűen alkalmazott képalkotó eljárások (CT, MRI, fMRI, PET stb.), amelyek hiányában a hatékony diagnosztika és kezelés is elképzelhetetlen. Azonban az előnyök mellett az informatika rohamos fejlődésének való kitettség is egyre nő: egyre nagyobb mértékben függünk az informatikai rendszerek képességeitől, működőképességüktől és sebességüktől. A diagnosztikában a klasszikus kvantitatív értékelések mellett egyre gyakrabban jelenik meg a felvételek automatikus kvantitatív értékelése, mely ezt a problémát tovább növeli. Cikkünkben ezt a problémakört járjuk körül, és egy konkrét példán keresztül illusztráljuk a napi szinten felmerülő problémákat, majd azt, hogy milyen megoldásokat találhatunk ezekre. Ez követően bemutatjuk, hogy a jelenlegi informatikai fejlődési trendek (felhő technológia, vizualizáció, nagyteljesítményű számítási rendszerek stb.) milyen változásokat indukálhatnak az orvosi képalkotó rendszerek és eljárások fejlődésében.

A SCLEROSIS MULTIPLEX DIAGNÓZISA ÉS KEZELÉSE

A sclerosis multipex (SM) a központi idegrendszer gyulladásos, demyelinizációs, leggyakrabban shub-okban zajló, fiatal felnőtteket érintő betegsége. A klinikai tünetei változatosak, a látásromlás, végtaggyengeség, kordinációs zavar, széklet-, vizelettartási zavar, valamint kognitív funkcióromlás jelentkezhet. SM szempontjából Magyarország a közepes rizikójú országok közé tartozik, a prevalencia 83/100 000 [1,2]. A diagnózis felállításának központi eleme a betegség térbeli és időbeli disszeminációjának igazolása, mely történhet a klinikai tünetek és az MRI vizsgálatok alapján [3,4] (1. táblázat). A szigorú protokoll szerint elkészített MRI vizsgálaton [5, 6] a betegség klasszikus jele a T2 súlyozott felvételeken hiperintenz körülírt léziók megjelenése. Ezek a léziók a diagnózis szempontjából fontos területeken jelennek meg: periventricularis, juxtacorticalis, infratentorialis, spinalis, valamint gyakran az opticus ideg. A hiperintenz léziókban a gyulladás, ödéma, demyelinizáció, degeneratív elváltozások, illetve regeneratív remyelinizációs folyamatok időben dinamikus változásai figyelhetők meg [7,8]. A korai demyelinizációs léziókban átlagosan 2-3 hétig kontraszthalmozás figyelhető meg a vér-agy-gát sérülése miatt [9,7]. A halmozó léziók egy részében pedig irreverzibilis hipointenzitás marad meg („black-hole"). Szövettani vizsgálatok megmutatták, hogy a súlyos demyelinizáció mellett ezekben a léziókban axonveszteség is megjelenik [10]. Modern MRI szekvenciákkal, mint a „double inversion recovery", a léziók nem csak a fehérállományban, hanem a kéregben is azonosíthatók [11,12] ENREF_12. Újabb vizsgálatok arra hívták fel a figyelmet, hogy az agytérfogat is jelentős fogyást mutat sclerosis multiplexben.

Térbeli disszemináció
Lézió legalább két területen az alábbi ötből:
• Legalább egy periventricularis lézió
• Legalább egy juxtacorticalis lézió
• Legalább egy infratentoriális lézió
• Legalább egy spinális lézió
Időbeli disszemináció
• Egy új T2 vagy Gd halmozó lézió megjelenése a tetszőleges időpontban elkészített kontroll MRI-n.
• Szimultán megjelenése halmozó és nem halmozó lézióknak tetszőleges időpontban.

1. táblázat
A térbeli és időbeli disszemináció MR kritériumai

A jelenleg összesen 11 elérhető betegségmódosító kezelés közül a megfelelő kiválasztása, a terápia hatékonyságának értékelése folyamatos klinikai és MRI monitorozásával lehetséges [5,6]. A személyre szabott megfelelő kezelés kiválasztása kiemelkedő jelentőséggel bír, hiszen a nem hatékony gyógyszer a beteg állapotának maradandó romlásához vezethet, miközben a kezelésnek jelentős költségvonzata is van.

A beteg állapotát folyamatosan monitorozni kell (ez Magyarországon a gyógyszerfelírási szabályozás szerint 3 havonkénti kontrollt jelent) a betegség kezdeti szakaszában szükséges évente MRI vizsgálatot végezni (stabil klinikum mellett ez később 2-3 évet jelent). A protokollnak megfelelően elkészült egymást követő MRI felvételeket egymáshoz kell hasonlítani. A legfőbb marker az új lézió megjelenése. A másik, viszonylag új biomarker az atrófia számítása hagyományos kvalitatív radiológiai módszerrel nem vizsgálható, az éves kb. 0.4-1%-os relatív agytérfogat vesztés számításához precíz, kvantitatív módszerek szükségesek [13]. Relapsusok, a klinikai állapot romlása, valamint új léziók megjelenése esetén terápiaváltás válhat szükségessé.

Az MRI felvételek értékelése

Amennyiben a klinikai kép jellegzetes, a radiológus feladata a térbeli és időbeli disszemináció MRI kritériumainak vizsgálata a diagnózis felállításához. Bár jelentős leegyszerűsítés, de kb. 500-600 szeletet kell a radiológusnak végig néznie, és azokon legtöbb esetben egy tucatnyi elváltozást azonosítani. Az éves MRI utánkövetések alatt a felvételek összehasonlítása kétszer annyi felvétel analízisét jelenti. Ez nem csak időigényes (egy beteg felvételeinek az elemzése kb. 20 percet vesz igénybe egy tapasztalt neuroradiológus esetén), de a megismételhetőség is alacsony, négy elemző eredményét tekintve a különböző lézió lokalizációkban az intraclass korreláció 0.4-0.6 között van (a szerzők publikálatlan eredménye). Az egyre inkább fontossá váló agyi atrófia, mely kb. 0.5-1% évente SM betegek esetében, szabad szemmel nem vizsgálható, így arról a radiológus érdemi információval nem tud szolgálni.

Figyelembe véve a prevalencia adatokat, Magyarországon kb. 5000 MRI felvétel készül évente SM betegeknek. Jelentős probléma az is, hogy a képzett neuroradiológusok száma nem elegendő a leletezéshez (évente csak átlagosan két orvos szerez ilyen szakvizsgát), így speciális tudással nem rendelkező általános radiológus leletezi a felvételeket.

Az MRI felvételek automatikus értékelése

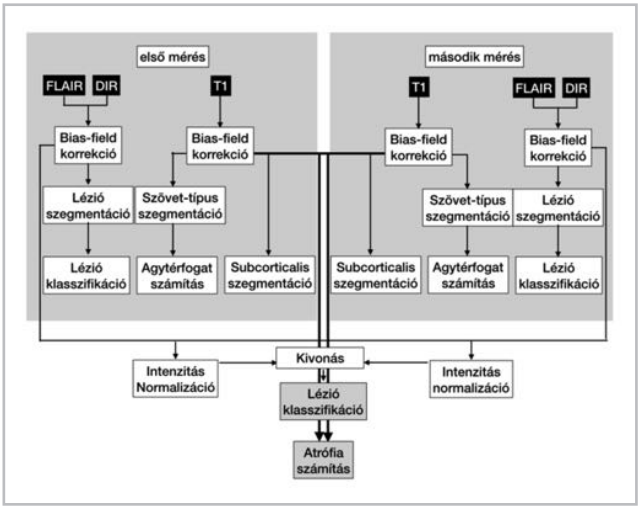
Az adatanalízis módszerek fejlesztésével lehetőség nyílik arra, hogy automatikus adatfeldolgozás segítse a radiológus munkáját. Ma már különböző cégek ajánlják szolgáltatásként az MRI adatok automatikus analízisét. Bár az általuk használt programok általában validáltak más módszerekhez vagy kézi analízishez képest, mégis a használt algoritmus részletei nem elérhetők. További probléma, hogy a külföldi szervereken történő adattárolásnak és feldolgozásnak jogi akadályai is vannak. Általában hiányzik a lokális PACS rendszerekbe való integrálás is, és természetesen a szolgáltatás árát a társadalombiztosítás támogatása hiányában – jobb híján – a betegnek kell állnia.

A kereskedelmi szoftverek alternatívájaként, több centrum fejlesztett ki saját adatfeldolgozási pipeline-t, legtöbbször szabadon hozzáférhető, nyílt forráskódú szoftverekből. Ezeknek nagy előnye, hogy az implementált algoritmusok szabadon hozzáférhetők, tanulmányozhatók, a részletek és hatékonyság tudományos közleményekben többszörösen validált. Különösen fontos, hogy az atrófia számítás esetében a nagy klinikai vizsgálatok ma már ugyanazt a módszert – SIENA [14] – használják a gyógyszerek hatékonyságának vizsgálatában, és ez szabadon hozzáférhető a betegellátás, kutatás számára is. Az így létrehozott pipeline-ok integrálhatók a lokális PACS rendszerekbe, kórházi informatikai rendszerekbe és a regiszterekbe.

Bár a különböző módszerek jelentősen eltérhetnek egymástól, egy általunk használt adatfeldolgozási pipeline lényegi részleteit vesszük sorra a következőkben. Az analízis pontos részletei a jelen publikáción túlmutatnak.

- Bemeneti adatok: Nagyfelbontású T1 súlyozott anatómiai felvétel, FLAIR és opcionálisan DIR, PD és T2 súlyozott felvételek.
- Adatkonverzió: A radiológiai rutinban az adatokat általában PACS rendszerekben, DICOM formátumban tárolják. A szabadon hozzáférhető adatanalízis módszerek azonban más formátumokkal (Nifti, Analyze) működnek, ezért konverzió szükséges.
- Bias-field korrekció
- Nem agy részek eltávolítása.
- A felvételek egymáshoz és standard térhez való regisztrálása lineáris és nem lineáris módszerekkel.
- Lézió szegmentálás:
  - Különböző tulajdonságokat figyelembe vevő gépi tanulásra (machine-learning) alapú lézió szegmentáció.

  - Lézió klasszifikáció és statisztikák a kitüntetett lézió lokalizációknak megfelelően.
- Szövet-típus és agytérfogat számítás:
  - Intenzitás alapú szövet-típus szerinti szegmentáció a léziók figyelembevételével
  - Agy, fehérállomány és szürkeállományi térfogatok meghatározása
  - Subcorticalis struktúrák szegmentálása és térfogatának számítása
  - Normalizálás a premorbid intracranialis térfogatra
- Új lézió detektálás
  - Intenzitás normalizáció
  - A felvételek kivonása
  - Új lézió azonosítása az intenzitáskülönbség képeken.
- Agytérfogat változás számítás azon információ segítségével, hogy a koponya mérete nem változott.
- Riport generálás, eredmények visszatöltése a PACS rendszerbe.



1. ábra
Az MRI feldolgozó pipeline végrehajtási váza

Jellemző informatikai problémák

A képfeldolgozó program és az SM Centrum működése során jelentkező tipikus informatikai problémák az egészségügy szinte minden területén jelentkeznek, így érdemes alaposabban ismertetnünk ezeket.

Szoftver szintű problémák: A már funkcionáló adatfeldolgozó pipeline jelenlegi állapotában több kisebb problémával küzd. A folyamatos fejlesztés jelenleg a nem agy területek eltávolításának tökéletesítését, a léziószegmentáláshoz felhasznált képtulajdonságok bővítését, alternatív machine-learning algoritmusok tesztelését, valamint az intenzitás normalizálás optimalizálását foglalja magában. A fejlesztési munkát képfeldolgozási tapasztalattal rendelkező programozó matematikusok végzik a Szegedi Tudományegyetem Képfeldolgozás és Számítógépes Grafika tanszékével szoros együttműködésben.

A következő megoldandó feladat, hogy a feldolgozó pipeline-t a PACS, a radiológiai informatikai rendszerbe (RIS) valamint a kórházi információs rendszerbe (CIS) illesszük. Jelenleg ez a fejlesztés folyamatban van. A DICOM adatok keresése, kijelölése és a pipeline-ba küldése, valamint az eredmények a PACS, RIS és CIS rendszerekbe visszaküldése is megoldandó feladat.

A pipeline feldolgozási sebessége igen jelentős probléma, hiszen a több órás feldolgozás miatt a leletezés nem tud megtörténni a vizsgálat napján, így a neurológiai kontroll vizsgálat is csak egy másik napon történhet. Ez a betegutak szervezésének a nehézségét fokozza, ismételt orvos-beteg találkozásokhoz vezet. A feldolgozás sebességének javítása ezért kiemelt jelentőségű. A két MRI mérés feldolgozását és összehasonlítását több egyszerűsítési és optimalizálási lépés segítségével a korábbi nagyjából 36 óráról jelentősen lehetett csökkenteni.

- Fontos lépés volt a felvételek felbontásának optimalizálása. A GE FSPGR szekvenciájának alapértelmezett beállítása a ZIP2 funkció használata, mely egy interpolációval a nominális 1x1x1mm-es felbontást duplájára növeli. A funkció kikapcsolásával a feldolgozási időt is radikálisan lehet csökkenteni.
- A sebesség növelésének másik lehetséges módja a feldolgozási lépések párhuzamossá tétele. Ez gyakori gyorsítási lépés a képalkotó vizsgálatok adatainak feldolgozásában, amikor is az egyes voxelek egymástól függetlenül értékelhetők (pl. funkcionális MRI). A fent vázolt adatfeldolgozó pipeline-ban kevés olyan lépés van, amiben a térben elkülönülő adatpontok egymástól függetlenül elemezhetők. Viszont a két különböző időben elkészített MRI felvétel feldolgozása történhet párhuzamosan, mely az analízis időtartamát egy lépésben felére csökkenti. Másik párhuzamosítási lehetőség a nem egymásra épülő adatfeldolgozási lépések (pl. subcorticalis szegmentáció és lézió azonosítás). Természetesen az egyes betegek adatai is párhuzamosan dolgozhatók fel. A párhuzamosítás feltétele természetesen a megfelelő hardver és szoftveres környezet. Bizonyos szabadon hozzáférhető MRI adatfeldolgozó programok (pl.: FSL) néhány modulja támogatja a többmagos párhuzamos végrehajtást, azonban a feldolgozó pipeline által használt modulokra ezt implementálni kell. További gyorsulás lenne várható az algoritmusok grafikus processzorra (GPU) történő implementálásával, azonban ez a legtöbb rendelkezésre álló programcsomagban még csak kezdeti stádiumban van. Kísérleti fejlesztések azonban már igazolták, hogy rendkívüli, akár több százszoros sebességnövekedés is elérhető GPU programozással [15, 16]. Ezen fejlesztések együttes alkalmazásával a kiértékelő program futási ideje a kiindulási néhány napról akár néhány percre lecsökkenthető.

Hardver szintű problémák: Ahhoz, hogy a képalkotó rendszerek által generált adatok gyors feldolgozása lehetséges legyen, nagyteljesítményű és szerver kategóriájú számí-

tógépek beszerzésére van szükség. Ezek általában költséges berendezések, emiatt a számítógépek számát a szervezetek igyekeznek minimalizálni. A meghibásodás elleni redundancia, a jövőbeli megnövekedett terhelésre méretezés jelentős terheket ró a fenntartóra. A számítógépek megfelelő üzemeltetési körülményeinek kialakítása is gyakran hagy kívánnivalót maga után (klimatizált szerver szoba, szünetmentes tápellátás stb.). A költségvetés nem képes biztosítani a gyakran meghibásodó alkatrészek (merevlemez, memória) pótlását, ami a feladatok elvégzésének időszakos felfüggesztését eredményezheti.

A fenti adatanalízis pipeline és más adatfeldolgozások párhuzamosítási szükségletei miatt a szervereknek nem csak a sebessége fontos, hanem a processzorok/magok száma is meghatározó, tovább növelve a költségeket. Mivel több feldolgozási lépés során is az egész felvételt a memóriában kell tartani, az egyes magokra eső memória igény is nagy (általában 4-8GB/mag). A GPU-k használata további költségnövekedés von maga után.

HUMÁN ERŐFORRÁS

A kórházi informatikai rendszerek üzemeltetése 24 órás, folyamatos felügyeletet igényel. A kutatási célú rendszerek is megkövetelik a főállású informatikus szakember alkalmazását. E nélkül nem képzelhető el folyamatos archiválás, karbantartás, programcsomagok verziókövetése, vagy a rendszer biztonságának folyamatos ellenőrzése.

A radiológiai mellett imaging és radiomikai alkalmazásokat is használó centrumban további felhasználói követelmények is megjelennek. Az alkalmazott programok miatt a felhasználóknak ismerniük kell a Linux operációs rendszer használatát, a script programozás alapjait, gyakran alapszintű programozói tudásra is szükség lehet különböző fejlesztői környezetekben, valamint az MRI feldolgozó programok és a képfeldolgozási módszerek, matematikai algoritmusok alapos ismerete elengedhetetlen. Látható, hogy a diagnosztikai folyamatot kialakító orvosok szinte fejlesztő informatikusi ismeretekkel kell, hogy rendelkezzenek, mely jelenleg az orvosképzésben kellő súllyal nem jelenik meg.

A FELHŐ TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSA

A felhő technológia (cloud technology) alapja a virtualizáció, illetve az „informatika” szolgáltatásként történő felhasználása. A felhasználók nem saját maguk által üzemeltetett informatikai rendszereket használnak, hanem erre szakosodott ún. felhő szolgáltatókat vesznek igénybe a rendszereik üzemeltetésére. Az igénybe vett szolgáltatás típusa alapján megkülönböztetünk infrastruktúra, platform és szoftver szintű szolgáltatásokat. Az infrastruktúra (IaaS, Infrastructure-as-a-Service) szolgáltatás kiválasztott konfigurációjú számítógépek üzemeltetését biztosítja, a felhasználó feladata mind az operációs rendszer, mind az azon futtatandó programok telepítése. A platform szolgáltatás (PaaS, Platform-as-a-Service) már előretelepített operációs rendszerrel működő számítógépet szolgáltat a felhasználó számára, tipikusan alkalmazás szerverként (pl. web szerver), míg a szoftver szolgáltatás (SaaS, Software-as-a-Service) egy programcsomag vagy funkció elérését teszi lehetővé.

A felhő szolgáltatás használatának több előnye is van. Mivel a szolgáltatók erre szakosodott vállalatok, mind szakértelemben, üzemeltetési színvonalban, megbízhatóságban jobbak, mint egy nem erre szakosodott (pl. egészségügyi) felhasználó. Kiválaszthatjuk az igényeknek legjobban megfelelő hardver-szoftver (processzor típus, memória méret, operációs rendszer) konfigurációt, változó terhelés esetén a rendszer automatikusan növeli vagy csökkenti a felhasznált hardver konfiguráció méretét, a számlázás alapja a rendszer ténylegesen használt ideje (pay-as-you-use). Nincs beszerzési fázis és az ebből adódó kezdeti kiadások, akár órák alatt elindítható egy informatikai rendszer. A garantált rendelkezésre állás mellett automatikus adatarchiválás, valamint a felhasznált számítógépek folyamatos „upgrade”-je is biztosított. Az üzemeltetés mellett a felhő szolgáltatások üzleti modellje is előnyt jelent, a felhasználás alapján történő számlázás előre kiszámítható, tervezhető költségként jelentkezik. Az egészségügy speciális igényei és jogi szabályozása felveti a kereskedelmi felhő szolgáltatók használhatóságának kérdését. Várható, hogy a technológia és a jogi szabályozás fejlődésével a problémák csökkenni fognak, azonban van lehetőség ún. privát felhő rendszerek kialakítására. Ez egy szervezet által üzemeltetett zárt felhő, ami ugyanazon technológiákra alapul, mint a kereskedelmi szolgáltatók rendszerei. Ilyen alapon el lehet kezdeni kialakítani egy gazdaságosan üzemelő, minden centrum által elérhető, megbízható informatikai rendszert.

Ennek megvizsgálása céljából, az MTA Cloud infrastruktúra keretén belül létrehoztunk egy virtuális szerver példányt és azon beüzemeltük az MR pipeline feldolgozó szoftvert. A kísérlet igazolta azt, hogy egy speciális célra fejlesztett szoftver beüzemelhető felhő környezetben, és ettől kezdve nem csak egy számítógépen, egy felhasználó számára érhető el, hanem akár az ország valamennyi nagyszámításigényű módszereket használó képalkotó centruma számára is, a megfelelő mérési protokollok betartása mellett.

A VÁRHATÓ FEJLŐDÉSI IRÁNYOK

Valamennyi vezető informatikai vállalat fejlesztési terveiben kiemelt helyet foglal el az egészségügy informatikai támogatása (IBM [17], Microsoft [18], NVIDIA [19]). A föld lakosságának növekedésével és elöregedésével az egészségügy egyrészt egyre nagyobb piacot jelent, másrészt a modern informatikai támogatás nélkül a várható feladatok megoldhatatlanok lennének. A felhő technológia lehetővé teszi a legmodernebb egészségügyi programok futtatását és felhasználását függetlenül a kórház földrajzi elhelyezkedésétől vagy pénzügyi lehetőségeitől. Ez különösen kisebb kórházak, orvosi rendelők számára jelenthet eddig nem látott lehetőségeket. A nagyteljesítményű számítástechnika, különösen a nagysebességű grafikus processzorok (GPU) alkalmazása

megnyithatja az utat új (különösen képelemzésre épülő) diagnosztikai, adatelemzési rendszerek kifejlesztésére. Várható, hogy ezek a szolgáltatások elérhetővé válnak mobil eszközökről is, valamint egyéni felhasználók számára is, ami hozzájárulhat egy egészségtudatosabb társadalom kialakulásához, illetve bizonyos betegségek korai, otthoni felismeréséhez, ezzel is csökkentve a kórházi ellátórendszer terhelését.

A központosított szolgáltatás és adattárolás hozzájárulhat népegészségügyi adatelemzésekhez, populáció szintű vizsgálatokhoz, valamint segíthet az új mesterséges intelligencia eljárások betanításához szükséges adathalmaz létrehozásához. Ehhez természetesen elengedhetetlen a különböző egészségügyi informatikai szolgáltatók rendszerei között az átjárhatóság. Erre tettek nemrég fontos közös bejelentést az iparág vezetői [20].

ÖSSZEFOGLALÁS

A feldolgozó program felhőben történő végrehajtását az MTA Felhő rendszer felhasználásával teszteltük. Az MTA Felhőben létrehozott virtuális gép az SM Centrum infrastruktúrájának felhasználása nélkül teszi lehetővé a program hatékony és akár több példányban történő futtatását. A pipeline optimalizálása és párhuzamos végrehajtása segítségével a kiindulási, közel 36 órás futási időt sikerült 3-4 órára csökkenteni. Egy ilyen rendszer alkalmas lehet arra, hogy több képalkotó centrum adatait dolgozza fel a diagnosztikai és állapotkövetési vizsgálatok során. Példánk igazolja, hogy a felhő technológia sok problémára hatékony megoldást nyújt és a hazai egészségügyben megkerülhetetlen technológiává válhat. A sikeres egészségügyi-informatikai megoldások kutatásához-fejlesztéséhez azonban elengedhetetlenül szükség van megfelelő felkészültségű interdiszciplináris – orvos, biológus, informatikus, villamosmérnök, matematikus, fizikus szakembereket foglalkoztató – kutató-fejlesztő csoportokra és több évre biztosított támogatásra. Erre vannak jó külföldi példák, érdemes lenne követni ezeket Magyarországon is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az Orvosi Cloud projekt nevében köszönetet mondunk az MTA Cloud (https://cloud.mta.hu/) használatáért, ami nagyban hozzájárult a publikált eredmények eléréséhez. A vizsgálatokat a Nemzeti Agykutatási Program 2 (2017-1.2.1-NKP-2017-00002) és egy EFOP grant (EFOP- 3.6.1-16-2016-00008) támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

[1] Sandi D, Zsiros V, Fuvesi J, Kincses ZT, Fricska-Nagy Z, Lencses G, Vecsei L, Bencsik K: Mortality in Hungarian patients with multiple sclerosis between 1993 and 2013, J Neurol Sci, 2016, 367, 329-332.

[2] Zsiros V, Fricska-Nagy Z, Fuvesi J, Kincses ZT, Langane E, Paulik E, Vecsei L, Bencsik, K: Prevalence of multiple sclerosis in Csongrad County, Hungary, Acta Neurol Scand, 2014, 130, 277-282.

[3] Filippi M, Rocca MA, Ciccarelli O, De Stefano N, Evangelou N, Kappos L, Rovira A, Sastre-Garriga J, Tintore M, Frederiksen JL, Gasperini C, Palace J, Reich DS, Banwell B, Montalban X, Barkhof F, Group MS: MRI criteria for the diagnosis of multiple sclerosis: MAGNIMS consensus guidelines, Lancet Neurol, 2016, 15, 292-303.

[4] Thompson AJ, Banwell BL, Barkhof F, Carroll WM, Coetzee T, Comi G, Correale J, Fazekas F, Filippi M, Freedman MS, Fujihara K, Galetta SL, Hartung HP, Kappos L, Lublin FD, Marrie RA, Miller AE, Miller DH, Montalban X, Mowry EM, Sorensen PS, Tintore M, Traboulsee AL, Trojano M, Uitdehaag BMJ, Vukusic S, Waubant E, Weinshenker BG, Reingold SC, Cohen JA: Diagnosis of multiple sclerosis: 2017 revisions of the McDonald criteria, Lancet Neurol, 2018, 17, 162-173.

[5] Kincses Z, Toth E, Fricska-Nagy Z, Fuvesi J, Rajda C, Bencsik K, Voros E, Csomor A, Palko A, Vecsei L: [The role of MRI in measuring the effectivity of disease modifying treatments II.] Ideggyogy Sz, 2018, 71, 81-88.

[6] Toth E, Bencsik K, Voros E, Fricska-Nagy Z, Fuvesi J, Rajda C, Csomor A, Palko A, Vecsei L, Kincses ZT: [The role of MRI in measuring the effectivity of disease modifying treatments I]. Ideggyogy Sz, 2018, 71, 77-80.

[7] Hart BA, Bauer J, Muller HJ, Melchers B, Nicolay K, Brok H, Bontrop RE, Lassmann H, Massacesi L: Histopathological characterization of magnetic resonance imaging-detectable brain white matter lesions in a primate model of multiple sclerosis: a correlative study in the experimental autoimmune encephalomyelitis model in common marmosets (Callithrix jacchus), Am J Pathol, 1998, 153, 649-663.

[8] Meier DS, Guttmann CR: MRI time series modeling of MS lesion development. Neuroimage 2006 32, 531-537.

[9] Cotton F, Weiner HL, Jolesz FA, Guttmann CR: MRI contrast uptake in new lesions in relapsing-remitting MS followed at weekly intervals, Neurology, 2003, 60, 640-646.

[10] van Walderveen MA, Kamphorst W, Scheltens P, van Waesberghe JH, Ravid R, Valk J, Polman CH, Barkhof F: Histopathologic correlate of hypointense lesions on T1-weighted spin-echo MRI in multiple sclerosis, Neurology, 1998, 50, 1282-1288.

[11] Geurts JJ, Roosendaal SD, Calabrese M, Ciccarelli O, Agosta F, Chard DT, Gass A, Huerga E, Moraal B, Pareto D, Rocca MA, Wattjes MP, Yousry TA, Uitdehaag BM, Barkhof, F: Consensus recommendations for MS cortical lesion scoring using double inversion recovery MRI, Neurology, 2011, 76, 418-424.

[12] Seewann A, Kooi EJ, Roosendaal SD, Pouwels PJ, Wattjes MP, van der Valk P, Barkhof F, Polman CH, Geurts JJ: Postmortem verification of MS cortical lesion detection with 3D DIR. Neurology 2012, 78, 302-308.
[13] Kincses ZT, Toth E, Banko N, Vereb D, Szabo N, Csete G, Farago P, Kiraly A, Bencsik K, Vecsei L: Grey matter atrophy in patients suffering from multiple sclerosis. Ideggyogy Sz 2014, 67, 293-300.
[14] Smith SM, De Stefano N, Jenkinson M, Matthews PM: Normalized accurate measurement of longitudinal brain change. J Comput Assist Tomogr 2001, 25, 466-475.
[15] Eklund A, Andersson M, Knutsson H: fMRI analysis on the GPU — Possibilities and challenges. Comput. Methods Programs Biomed., 2001, vol. 105, no. 2, pp. 145–161, 2011.
[16] Eklund A, Dufort P, Villani M, LaConte S: BROCCOLI: Software for fast fMRI analysis on many-core CPUs and GPUs, Front. Neuroinform., vol. 8, p. 24, Mar. 2014.
[17] BM Healthcare Industry Solutions – Services, [Online], Available: https://www.ibm.com/industries/healthcare, [Accessed: 14-Aug-2018]
[18] Microsoft Cloud for Health – Microsoft Enterprise – English (en-us), [Online], Available: https://enterprise.microsoft.com/en-us/trends/microsoft-cloud-for-health/, [Accessed: 14-Aug-2018]
[19] Deep Learning – AI for Healthcare – Medical Research | NVIDIA. [Online]. Available: https://www.nvidia.com/en-us/deep-learning-ai/industries/healthcare/, [Accessed: 14-Aug-2018]
[20] Microsoft, Amazon, Google, IBM, Oracle, and Salesforce issue joint statement for healthcare interoperability – Microsoft Industry Blogs, [Online], Available: https://cloudblogs.microsoft.com/industry-blog/industry/health/microsoft-amazon-google-and-ibm-issue-joint-statement-for-healthcare-interoperability/?wt.mc_id=AID723268_QSG_SCL_266427, [Accessed: 14-Aug-2018].

A SZERZŐK BEMUTATÁSA

Dr. Juhász Zoltán egyetemi docens a veszprémi Pannon Egyetem Villamosmérnöki és Információs Rendszerek tanszékén, ahol a Párhuzamos és Elosztott Rendszerek kutató csoport vezetője. Okleveles villamosmérnöki diplomát szerzett 1989-ben (BME), majd két évig Észak-Írországban, a The Queen's University of Belfast Computer Science tanszékén dolgozott kutatóként. 1992 óta dolgozik a Pannon Egyetemen. 1997-ben szerzett Műszaki Informatika PhD fokozatot. Kutatási területe a párhuzamos és elosztott számítási rendszerek elmélete és fejlesztése, valamint az objektum-orientált technológiák alkalmazása ezen területeken. Az elmúlt évek alatt több tudományos kutatási pályázatot nyert, valamint többször volt vendégoktató az angliai University of Exeter Computer Science tanszékén. Jelenlegi kutatási tevékenysége a sokmagos grafikus processzorok orvosi képalkotásban történő hatékony felhasználására irányul.

Katona Melinda a Szegedi Tudományegyetemen szerzett Gazdaságinformatikus BSc (2012) és Programtervező informatikus MSc (2014) diplomát. Jelenleg a Szegedi Tudományegyetem Informatika Doktori Iskolájában doktorjelölt. Több kutatás-fejlesztési projektben dolgozott képfeldolgozás és mesterséges intelligencia témakörökben. Doktori munkájának témakörei a vizuális kódok detektálásához, orvosi képek feldolgozásához, műtéttervezéshez, öregkori retina betegségek diagnosztikájához és biológiai képek elemzéséhez kötődik. Munkájához kapcsolódóan céges és állami tanulmányi ösztöndíjakat nyert, köztük az NKP Eötvös Loránd Hallgatói Ösztöndíjat (2013), és az Új Nemzeti Kiválóság Program (ÚNKP) ösztöndíját is (2018). Eddig 13 nemzetközi és hazai konferenciacikk társszerzője.

Dr. Bodnár Péter 2011-ben szerzett műszaki informatikai oklevelet a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Karán. Az SZTE-TTIK Képfeldolgozás és Számítógépes Grafika Tanszékén Nyúl László tanszékvezető egyetemi docens témavezetésével 2016-ban szerzett PhD fokozatot. Jelenleg ugyanezen tanszék dolgozója adjunktus munkakörben. 2011 óta részt vesz a tanszék munkájában és projektjeiben, továbbá oktatási tevékenységet is végez 2008 óta. Szakterülete a képfeldolgozás, képi jellemzők kinyerése és vizsgálata.

Dr. Tóth Eszter a Szegedi Tudományegyetemen szerezte általános orvosi (2011) és angol egészségügyi szakfordító diplomáját (2008). Szakdolgozatát a monoszinaptikus reflexek elekrofiziológiai vizsgálatának megismételhetőségéből írta. Diplomaszerzést követően a Szegedi Tudományegyetem Neurológiai Klinikájának PhD hallgatója volt, jelenleg pedig ugyanitt rezidens orvosként dolgozik. Kutatási területe a sclerosis multiplex betegek agyi strukturális MRI vizsgálata, valamint annak összefüggése a klinikai tünetekkel és kognitív diszfunkciókkal. Összesen 13 cikk szerzője és társszerzője.

A további szerzők bemutatása a www.imeonline.hu oldalon olvashatók.

Dr. Bozsik Bence a Szegedi Tudományegyetem Neurológiai Klinika PhD hallgatója, a Neuroimaging Kutatócsoport tagja. Diplomáját az SZTE Általános Orvostudományi Karán szerezte 2017-ben. Szakdolgozatát a sclerosis multiplexben észlelhető agyi atrófia méréséből szerezte. Kutatási területe: Az agy és a thalamus atrófiájának vizsgálata sclerosis multiplexben.

Dr. Bencsik Krisztina a SZOTE-n szerezte orvosi diplomáját 1984-ben. Neurológiai szakvizsgát tett 1990-ben, PhD fokozatát 2002-ben szerezte, majd 2009-ben habilitált. Az SZTE Neurológiai Klinika egyetemi docense. A Sclerosis Multiplex Kutatócsoport vezetője, mely egyben Magyarország legnagyobb SM centruma. A szegedi SM regiszter megalapítója. A Magyar Neuroimmunológiai Társaság 2013 és 2016 között főtitkára, majd a Társaság Sclerosis Multiplex Paneljének elnöke. Összesen 64 cikk szerzője és társszerzője melynek citációja 436/579 (MTMT)

Dr. Nyúl László egyetemi docens a Szegedi Tudományegyetem TTIK Informatikai Intézetének vezetője, az SZTE Képfeldolgozás és Számítógépes Grafika Tanszék vezetője. Okleveles programtervező matematikus (JATE, 1994), PhD (SZTE, 2003), Dr.habil. (SZTE, 2011). Összesen több mint 4 évet dolgozott rangos külföldi kutatóintézetekben. Hallgatóként 8 hónapot töltött Angliában (University College London), 1997-2000 között az USA-ban (University of Pennsylvania, Philadelphia) kutatott, 2006-2007 között Humboldt Kutatási Ösztöndíjas Németországban (Universität Erlangen-Nürnberg), továbbá vendégkutató volt osztrák (Universität Graz) és svéd (Uppsala Universitet) egyetemeken. 2010-2013 között Bolyai János Kutatási Ösztöndíjas. Kutatási területe a digitális képfeldolgozás, érdeklődése főként orvosi és biológiai alkalmazásokhoz kapcsolódó problémákra irányul, mint pl. többdimenziós képek szegmentálása, képi információn alapuló diagnózis- és terápia-támogató rendszerek, valamint orvosbiológiai kísérletek automatizált kiértékelését támogató módszerek fejlesztése.

Prof. Dr. Vécsei László Szegeden a Kórélettani Intézetben, majd a pécsi Neurológiai Klinikán dolgozott kutatóként, majd neurológusként. Klinikai laboratóriumi és neurológia szakvizsgája, neuroendokrinológus szakképesítése van. A svéd Lundi, majd a bostoni Harvard Egyetemen volt tanulmányúton. Kandidátus (1986), a Lundi Egyetem doktora (1989), az MTA doktora (1992), s 1993-tól Szegeden a Neurológiai Klinika vezetője. Az MTA levelező (2001), majd rendes tagja (2007), közel egy évtizeden keresztül az Akadémia Orvosi Tudományok Osztályának, valamint az Orvosszövetségnek (MOTESZ) elnökhelyettese, majd elnöke volt. Vezetője volt az MTA Klinikai Idegtudományi Bizottságának, tagja volt az MTA Elnökségének. A Neurológiai Szakmai Kollégiumnak, a Kollégiumi Elnökök Tanácsának elnöki és négy évig az SZTE ÁOK dékáni tisztét töltötte be. Vezetője volt a Magyar Ideg- és Elmeorvosok, Fejfájás és Fájdalom Társaságoknak. Az Európai Neurológiai Társaságok Szövetségének (EFNS) korábbi alelnöke, az Európai Klinikai Neurofarmakológiai Társaság (ESCNP) főtitkára volt. A Világ Neurológiai Szövetség (WFN) Global Neurology Network Bizottság tagja, közel két évtizede a Duna Neurológiai Társaság főtitkára. Kutatási területe a neurológiai kórképek pathomechanizmusa, új terápiás alternatívák vizsgálata. Öt szabadalma van. Munkatársaival a PUBMED-ben 515 munkája jelent meg, hivatkozása 13.500 / 10.000 (MTMT). Tizenöt könyv és monográfia szerzője, szerkesztője, több mint tíz tudományos folyóirat szerkesztőségének tagja. Kitüntetése: Széchenyi Díj (2012).

Dr. Kincses Zsigmond Tamás általános orvosi diplomáját a Szegedi Tudományegyetemen szerezte 2001-ben. 2004-ben védte meg PhD diplomáját, 2010-ben neurológiai szakvizsgát szerzett, majd 2014-ben habilitált. 2015 óta radiológus szakképzésben vesz részt. Neuroszonológus, neuro-ophtalmológus és vaszkuláris neurológia licenszvizsgákkal rendelkezik. PhD tanulmányai alatt három évet töltött a göttingeni Georg-August Egyetem Klinikai Neurofiziológia Osztályán Volkswagen és Marie Curie ösztöndíjjal. A PhD fokozat megszerzése után három évig az Oxfordi Egyetem FMRIB Intézetében volt kutató. Három hónapot volt Grazi Orvosi Egyetemen vendégkutató. Szegedre visszatérve 2009-ben megalapította a Neuroimaging Kutatócsoportot a Neurológiai Klinikán. 2011-2016 között a brno-i International Clinical Research Center külső kutatója. 2014-2018 között a Richter Gedeon Nyrt. Preklinikai Képalkotó Központjának tudományos tanácsadója. Vezetésével két PhD hallgató védte meg diplomáját, valamint további három hallgatója a diplomaszerzés előtt áll. A vezetésével jelenleg további négy PhD hallgató dolgozik. Elnyerte a Bolyai János Kutatási Ösztöndíjat, Környei díjat, Joó Ferenc díjat és Schaffer díjat. Kutatási projektjeit több hazai és európai pályázatból finanszírozza. Összesen 70 közlemény szerzője vagy társszerzője, melynek citációja 2058/2675 (MTMT).