

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS  
GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

TÉZISFÜZET

---

# Komplex módszerek radiográfiás felvételek automatikus elemzésére

---

*Szerző:*  
ORBÁN Gergely Gyula

*Konzulens:*  
Dr. HORVÁTH Gábor

Intelligens Rendszerek Csoport  
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

2017. november 11.



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

## Kivonat

A radiográfiás képalkotó eljárások fontos szerepet töltenek be napjaink orvosi gyakorlatában. Létfontosságú eszközök jelentenek az elváltozások és betegségek felismeréséhez, behatárolásához és elemzéséhez, ezáltal eredményesebbé tehetik a kezelést. A rákos tumorok megjelenítése a képalkotó eljárások egyik leggyakoribb felhasználása, mely különösen hasznos szűrővizsgálatok esetén.

Disszertációm új módszereket sorakoztat fel radiográfiás tüdőfelvételek számítógéppel támogatott elemzésére, ahol a fő cél a rendellenességek, elsősorban léziók felismerése. Az orvosi diagnosztika ezen problémájára már léteznek korábbi megoldások, de eredményeik nem elég pontosak. Munkám célja tehát a következő volt. Egyrészt az automatikus diagnózis pontosságát és megbízhatóságát igyekeztem javítani az elváltozás-felismerő algoritmusok javításával. Másrészt a problémákör eddig elhanyagolt részproblémáit vizsgáltam, hogy kiterjesszem az automatikus diagnózis felhasználási területeit olyan elváltozások és képalkotó módszerek esetére, melyekkel korábbi kutatások még nem foglalkoztak.

Az eredményeim három részre oszthatók. Az első csoportban új, önálló képszűrő módszereket kutattam, melyek elsősorban elváltozások, betegségek szimptomáinak az eddigieknél szélesebb körét célozzák, illetve a jelenlegi módszerek pontosságát javítják. További szempont volt, hogy az új módszerek egészítsék ki egymás találatait, az együttes alkalmazásukat segítve. Ezek érdekében először általánosítottam egy gradiens konvergencia alapú szűrőt, hogy jobban kezelje a tüdőbetegségeknél gyakori, nem teljesen gömbszerű elváltozás formákat. Ezen felül egy új módszert javasoltam strukturált háttérzaj figyelembe vételére, amivel a tüdőképeken előforduló egymásra vetülések negatív hatásait enyhítettem. Ahhoz, hogy a korábbi kutatásokban célzottaktól eltérő, amorf alakzatokat kezeljek, egy új, mintákból tanuló, a kiugró értékek észlelésén alapuló szűrőt alakítottam ki.

A második részben eltérő módszerek kombinálására helyeztem a hangsúlyt egy automatikus orvosi elemző rendszer különböző szintjein. Az első részeredmény egy új módszer alakzatfelismerő algoritmusok kombinálására, mely egy gyakori mérőszám esetén optimális eredményt ad. Az eljárást a korábban bemutatott képszűrők kombinálására alkalmaztam. A második eredményem csontárnyék kompenzálás hatását vizsgálja mellkasröntgen-felvételek esetén, illetve ezen alapulva módszert ad az elváltozás keresés pontosítására. A harmadik részeredmény elváltozás-keresők hamis találatainak osztályozására ad új kép-összehasonlító kernelfüggvényeket. Ennek részeként egy optimális képi jellemzőhalmazt kínáltam a problémára, továbbá képtérben dolgozó kernelfüggvényeket adaptáltam radiográfias felvételek elemzésére, és végül a felvételtől független páciens adatok és külső szakértő rendszerek alkalmazására mutattam be megoldást.

A harmadik csoport a digitális tomoszintézis (digital tomography, DTS) modalitás specifikus problémáival foglalkozik. A hagyományos mellkasröntgennel és a komputer tomográfiával (computer tomography, CT) ellentétben a DTS modalitást kevesen kutatták. Nyitott kérdés tehát, hogy a mellkasröntgen és a CT esetében alkalmazott módszerek alkalmazhatók-e DTS-felvételekre. A legfontosabb feladatoknak az elváltozások kiemelését, továbbá az érhálózat és a hörgők feltérképezését jeleltem ki, és ezek megoldására adtam javaslatot.

Az eredmények alkalmazásaként két teljes körű, automatikus elváltozás-felismerő módszert dolgoztam ki mellkasröntgen és DTS-felvételek elemzésére. A rendszereket összevetettem korábban publikált eljárásokkal és egymással. Utóbbival azt a kérdést igyekeztem megválaszolni, hogy vajon a DTS-alapú CADe jobban teljesít-e a mellkasröntgen-alapúnál a tüdőbetegségek felismerését tekintve.

# 1. Bevezetés

Napjainkban az orvosi képalkotó eljárások nélkülözhetetlen eszközei az orvosi diagnosztikának, eredményeiktől emberi szakértők és döntéstámogató szoftverek, azaz gépi szakértők egyaránt függenek. A leggyakoribb eljárások, melyek élő szervezetek belsejét képesek megjeleníteni, radiográfiás eljárások, azaz röntgensugárzást használnak. A legelterjedtebbek ezek közül a komputertomográfia (computed tomography, CT) illetve a hagyományos mellkasröntgen. Ezeken felül egy aránylag új, erősen fejlődő módszer a digitális tomoszintézis (digital tomosynthesis, DTS), mely az előző két módszer közötti úrt igyekszik betölteni.

A radiográfiás képalkotás célja az emberi test belső struktúráinak megjelenítése, amit a módszer a radiodenzitás, más szóval az anyag sugárelnyelő képességének térbeli becslésével ér el. Mivel a különböző szövetek, folyadékok és a levegő radiodenzitása eltérő, így ezek elkülöníthetővé válnak az eredményfelvételen. A radiográfia legegyszerűbb formájában a sugarak útjába eső szövetek aggregált radiodenzitását méri és vetíti le egy felvételre. Ez az elv használatos a röntgenfelvételek készítésekor. Különböző irányú vetítésekkel a tér különálló pontjainak denzitása is rekonstruálható, például Radon, 1917 eredményei felhasználásával. Ezzel lehetővé válik a háromdimenziós képalkotás.

Egy háromdimenziós rekonstrukciót lehetővé tevő technika a tomoszintézis, melynek kezdeti fejlődéséhez Plantés, 1932; Garrison et al., 1969; Miller, MoCurry, és Hruska, 1971; Grant, 1972 munkái járultak hozzá. A rekonstrukció alapelve hasonló a CT esetében alkalmazotthoz, de a végeredmény alapvetően más. A CT-vel ellentétben a tomoszintézis korlátozott szögteremtőből készít projekciókat, aminek eredménye a korlátozott mélységi felbontás a detektor síkjára merőlegesen. Másrészt viszont minden projekció egy magasfelbontású kétdimenziós röntgenfelvételt eredményez, így jobb a rekonstruált képnek a detektor síkjával párhuzamos felbontása. A tomoszintézis modern változata a DTS, mely digitális felvételek készítésével teszi a rekonstrukciót pontosabbá és rugalmasabbá.

A radiográfiás képalkotás jelen formájában számos, a klinikai gyakorlatban előforduló problémát megbízhatóan megold. A röntgenfelvételek például a legtöbbször tisztán mutatják a csonttöréseket, a CT pedig a kisebb tumorokat is képes megjeleníteni különböző szervekben. A röntgenfelvételek továbbá számos tüdőbetegség és tünet kimutatásában nyújtanak segítséget, például a tüdőtágulat vagy a pneumónia könnyen diagnosztizálhatók.

Munkám célkeresztjében a tüdő és annak legfontosabb betegségei állnak: a tüdőrák, tuberkulózis (TBC), illetve nagyobb általánosságban a interstitialis tüdőbetegségek. Ezek a következőképp jellemezhetők.

A tüdőrák a rákos elhalálozások leggyakoribb oka, mind a magas incidencia, mind az alacsony túlélési ráta miatt. Egy 2014-re vonatkozó, egyesült államokbeli prognózis szerint az új megbetegedések száma éves szinten eléri a 0,07%-ot, illetve az ötéves túlélés 18% körül alakul (lásd Siegel et al., 2014). Az alacsony túlélési ráta egyik fő oka, hogy a legtöbb kezelés csak a betegség korai stádiumában hatékony, ekkor viszont szimptomák hiányában a betegség gyakran észrevétlen marad. Kramer et al., 2011 kimutatta, hogy a mortalitás csökkenthető, ha a betegséget korai, szimptomamentes stádiumában észlelik és kezdik kezelni. Ebből következik, hogy a kezelések hatékonysága növelhető, ha javul a diagnózis pontossága, illetve ha a populáció egy részét vagy egészét rendszeresen szűrik. Sem a pontosság növelés, sem a szűrés megvalósítása nem egyszerű feladat.

A tuberkulózis az interstitialis tüdőbetegségek egy fajtája, és napjaink egyik komoly problémát jelentő betegsége. Szintén magas incidencia és alacsony túlélési ráta jellemzi. Manapság leginkább a fejlődő világ érintett, azon belül is leginkább az emberi immunhiány-előidéző vírussal (Human Immunodeficiency Virus, HIV) fertőzöttek. Egy 2012-re vonatkozó becslés szerint a globális populáció 0,12%-a vált fertőzötté az év során, és az összes haláleset 0,02%-a a TBC számlájára írható (lásd World Health Organization et al., 2013). A TBC gyógyítható, ha időben észlelik, de sajnálatos módon a fejlődő világban gyakran túl későn diagnosztizálják a beteget, leginkább erőforráshiány miatt.

## 2. A radiográfiás diagnosztika kiválasztott kihívásai

A számos előnyös tulajdonságuk ellenére legalább három fő problémát lehet megfogalmazni a jelenlegi radiográfiás eljárásokkal szemben, melyek gyengítik a módszerek diagnosztikai képességeit.

Az első probléma, hogy a röntgensugár ionizáló, emiatt a vizsgált személy számára élettani kockázattal bír. Ugyan a kockázat alacsony, de korántsem elhanyagolható, ahogy azt Brenner et al., 2001 és Sodickson et al., 2009 munkája is megerősíti, tehát a sugárdózis csökkentése fontos cél. A dózis megválasztása mindig kompromisszumot jelent az élettani kockázatok csökkentése és a képminőség javítása között. Utóbbi közvetlenül befolyásolja a felvételek diagnosztikai értékét. Elképzelhető a dózis csökkentése a diagnosztikai pontosság megtartása mellett, például a következő módokon: a felvételt készítő hardver javításával, kifinomultabb képfeldolgozó eljárások alkalmazásával vagy az elkészült felvételek mélyebb elemzésével. A számítógéppel támogatott észlelés (computer aided detection, CADe) egy lehetséges és ígéretes megoldás: a mélyebb elemzést segíti elő egy gépi szakértő hozzáadásával a klinikai gyakorlathoz.

A magas üzemeltetési költségek egy következő problémát jelentenek a radiográfiás eljárások alkalmazóinak. A költségekhez hozzájárul mind a felvételek betegenkénti elkészítésének ideje, mind az eszközök magas beszerzési költsége és a felvételek elemzésével eltöltött idő. Ez utóbbi a felbontás és az elkészült vetületek számával együtt növekszik. Mindemellett a lakosság nagy részének legalább éves szűrésére lenne szükség ahhoz, hogy a korábban említett tüdőbetegségeket időben észleljék. Ezt Shlomi et al., 2014 és Furlow, 2014 munkái is alátámasztják. Egy évenkénti szűrés a korszerű módszerekkel összességében túl magas költségeket eredményezne a rendelkezésre álló technológiával. Amennyiben a felvételek elemzését végzők munkáját egy automatikus CADe rendszer segítené, ezek a költségek jelentősen csökkenthetők lennének.

A radiográfiás képelemzés és diagnózis harmadik fő problémája,

hogy az elemzés nehézsége miatt gyakran a rejtett szimptómák észrevétlenül maradnak. Ezért leginkább a következő okok felelősek. Egyrészt a tüdőfelvételeken nagyon sok anatómiai egység jelenik meg, melyek a vetületi képeken számos helyen átlapolódnak, azaz egymásra vetülnek. Másrészt a szövetek elkülönítése csak a képen látható intenzitásuk alapján lehetséges, nem áll rendelkezésre szín információ. Ugyan az intenzitás a radiodenzitástól függ, további nehézséget jelent, hogy – a CT kivételével – az értékek nem kalibráltak, egy adott szövet két különböző felvételen jelentősen eltérő intenzitást adhat. Az intenzitáskülönbségek az alacsony dózisu technikáknál, például a mellkasröntgennél, nem is elég nagyok, a kontraszt általában gyenge. Végül a megjelenő anatómiai struktúrák igen változatos, nehezen modellezhető alakja is problémát jelent. Mindezek az okok igen nehézzé teszik a pontos diagnózist tapasztalt szakorvosok számára is. Jellemzően előfordul például, hogy egy korai stádiumú tumor elkerüli a diagnosztika figyelmét. Korábbi kutatások kimutatták, hogy a korai stádiumú tumorok több mint 30%-a észrevétlenül marad a klinikai gyakorlatban a mellkasröntgen-felvételeken, lásd Muhm et al., 1983, Quekel et al., 1999, Shah et al., 2003 és Doi, 2007 munkáit. Ez az arány javítható a felvételek pontosabb kiértékelésével, például egy automatikus másodelemző CADe rendszer hozzáadásával a klinikai gyakorlathoz.

Látható tehát, hogy egy CADe rendszer alkalmazása mindhárom problémát enyhítheti, melyet Kobayashi et al., 1996; MacMahon, Engelmann, et al., 1999; De Boo et al., 2009 munkái is megerősítenek. Még ha csak részben is, de sikerül ezeket a problémákat mérsékelni vagy megoldani, az az emberi populációra nagy hatással lehet. Ez önmagában is komoly motivációt jelent további radiográfiai képelemzést célzó kutatások számára.

### 3. A számítógéppel támogatott felismerés kiválasztott nyitott problémái

Az elmúlt évtizedekben sokan kutatták a mellkasröntgen- és a CT-alapú automatikus elváltozás-detektálást. Például Chen, Suzuki, és MacMahon, 2011, Snoeren et al., 2010, Hardie et al., 2008, Campadelli, Casiraghi, és Artioli, 2006, A.M.R. Schilham, Van Ginneken, és Loog, 2006, Coppini et al., 2003 és Wei et al., 2002 munkái mind fontos korábbi kutatások.

A legtöbb javasolt megoldás hasonló sémát követ. A módszerek a keresett elváltozás egy modelljéből indulnak ki, mely alapján képfeldolgozó eljárások emelik ki az elváltozások képét. A modelleket úgy alakítják ki, hogy a legtöbbféle elváltozást kiemeljék, így minimalizálva a fals negatív esetek számát. A modellek inkluzív természetükből fakadóan sok hamis pozitív régiót is megengednek. Ebből adódóan az elváltozás kiemelő fázis után a fals pozitívak szűrése szükséges, ezt általában egy osztályozó algoritmus végzi. Az osztályozó bemenetét változatos képjellemzők alkotják, melyek segítenek megkülönböztetni a valós találatokat a hamisaktól.

Annak ellenére, hogy a korábbi megoldásokba készítőik rengeteg munkát fektettek, ezek nem elég pontosak, nem érik el az emberi szakértők szintjét. Túlzottan sok hamis pozitív és hamis negatív eset fordul elő, például a CADe rendszerek jellemző munkapontjukban képenként 2-5 hamis találatot adnak. Ez jelentős probléma, mivel előfordul, hogy félrevezeti a vizsgálatot végző személyt, aki esetlegesen a CADe diagnózisát választja a sajátja helyett (lásd B. de Hoop et al., 2010). Másrésztől a vizsgáló hamar elveszítheti az automatikus elemzőbe vetett bizalmát hamis negatív esetek előfordulásakor. Ezen felül CADe használata esetén az eredmények kiértékeléséhez több idő szükséges, sok hamis pozitív találat esetén különösen (lásd De Boo et al., 2009). Mindezek miatt helye van új módszereknek, melyek javítják az eredmények pontosságát. A továbbiakban a korábbi megoldások közös problémáit igyekszem bemutatni, melyek egyben a saját kutatásom irányát is meghatározták.



A legtöbb megoldás egyik első lépése egy elváltozás-kiemelő szűrő, mely gömbszerű elváltozás-modell alapján keres, és kevésbé emeli ki a gömbtől eltérő alakzatokat. Ez jellemző az elterjedt foltdetektorokra, például a Laplacian of Gaussian (LoG) szűrőre, a Gauss különbség (difference of Gaussian, DoG) szűrőre és a konvergencia index szűrőkre (lásd Kobatake és Hashimoto, 1999) különböző változataira. A gömbszerű feltételezés ellentétes azzal, hogy a keresett elváltozások, például a tüdőtumorkok gyakran nem gömbszerűek. Egy lehetőség a szűrők javítására a kevésbé körszerű alakzatok figyelembe vétele a modell megalkotásakor. Kutatásomban a konvergencia index szűrők alakzatot korlátozó tagját módosítottam, hogy a módszer a kevésbé szabályos alakzatokat is kiemelje.

A legtöbb felhasznált algoritmus a 30 mm-nél kisebb átmérőjű elváltozásokat célozza. Sok szakértő ezt azzal támasztja alá, hogy a nagyobb elváltozások kevésbé hasznos találatok, mivel a kezelések a késői fázisban már kevésbé hatékonyak. Ez önmagában viszont nem indokolja a nagyobb elváltozások elhanyagolását: egy Mountain, 1997 által leírt tüdőtumor osztályozási módszer szerint a 30 mm-nél nagyobb tumorral rendelkező betegek ötéves túlélési esélye 57%, míg a csak ennél kisebb tumorral rendelkezők csak kevéssel több, 67%. Ebből adódóan érdemes lehet a jelenlegi algoritmusokat kiterjeszteni a nagyobb elváltozások felé. Ez azonban új kihívásokat jelent, például a keresett alakzatok a vetületi képeken gyakrabban átlapolódnak más háttéralakzatokkal, továbbá a képintenzitásuk is más jelleget mutat. Munkám egyik célja volt, hogy egy a zavaró háttéralakzatokra kevésbé érzékeny szűrőt alakítsak ki, melynek válassza a nagyobb elváltozások intenzitás profiljára optimalizált.

Egy másik probléma a kerekárnyékokra koncentrált szűk fókusz. A kerekárnyék a tüdőrák egyik lehetséges megjelenési formája, de nem az egyetlen. Másféle találatok elhanyagolása egy általános szűrés során problémát jelenthet. Egy gyakran előforduló találat az ún. beszűrődés vagy infiltrátum, mely általánosan a tüdőszövet vagy valamilyen idegen anyag sűrűsödésére utal a tüdőben. Ezek az alakzatok jellemzően nehezen körülhatárolhatóak és változatos formájúak

lehetnek. MacMahon, Doi, et al., 1990 szerint az infiltrátumok a leggyakoribb elváltozások mellkasröntgen-felvételeken, még akkor is, ha csak a rejtett, nehezen megtalálható elváltozásokra szorítkozunk. Az infiltrátumok nem csak tüdőrákot, hanem sokféle más betegséget jelezhetnek, például pneumóniát vagy tuberkulózist, melyek kiemelése fontos feladat egy szűrés során. Mivel a legtöbb korábbi kutatás a kisebb kerekárnyékokat célozta, B. van Ginneken, Hogeweg, és Prokop, 2009 a fókusz áthelyezését javasolta, azzal indokolva, hogy a kerekárnyékok megtalálása önmagában nem elég a halálos tüdőbetegségek szűréséhez. Kevés korábbi kutatás céljai között szerepelt a kerekárnyékokon kívüli alakzatok kiemelése, és egyikük sem próbálta meg, hogy mind kerekárnyékokat, mind infiltrátumokat keresen korszerű módszerekkel. Válaszul egy olyan szűrő kifejlesztését céloztam meg, mely inkább a képintenzitás alapján működik és kevésbé függ a keresett elváltozás alakjától, ezzel téve alkalmassá infiltrátumok keresésére.

A módszerek magas szintű sémáját tekintve a legtöbben soros megközelítést alkalmaznak, ahol minden lépés egyetlen előző lépés kimenetét dolgozza fel. Ez ellentétes a manapság egyre népszerűbb "szakértőegyüttesek" elvével. Szakértőegyüttesek esetén egy részfeladatot több különböző algoritmus párhuzamosan old meg, majd az eredményeket egy speciális módszer kombinálja. A témát például Zhou, 2012 dolgozta fel részletesen, a gépi tanulás szemszögéből. Egy lehetséges továbbvitele a korábbi CADe megoldásoknak a szakértőegyüttes-elv alkalmazása a különböző eredményes módszerek kombinálásával. Ez képes lehet mind a találatok körének kiterjesztésére, mind a pontosság javítására. A szakértőegyüttes-elv előnyeit a radiográfiás képelemzés területén igyekeztem kihasználni. Ennek érdekében különböző képszűrő algoritmusokat kombináltam, hogy egy átfogó módszert adjak, mely infiltrátumokat és változatos méretű kerekárnyékokat is felismer, mégpedig pontosabban, mint a különálló szűrők bármelyike.

A radiográfiás felvételeken többféle zajtípus jellemző, például strukturált anatómiai háttérzaj, a képszenzor zaja vagy a röntgensugár szóródása okozta zaj, melyek mindegyike okozhat hamis találatokat

egy CADe algoritmus számára. Annak ellenére, hogy a felvételeken előforduló zaj gyakran vezeti félre az eljárásokat, a legtöbb korábbi megoldás nem alkalmaz zajsűrést, vagy csak általános, a szakterületi jellegzetességeket elhanyagoló módszereket használnak. A különböző, röntgenfelvételeken előforduló egyes zajtípusok sok közös tulajdonságot mutatnak, ilyen például a jellegzetes struktúrájú bordázat árnyéka, mely tumorok keresésekor zajnak tekinthető. A szakterületi tudást felhasználva lehetővé válhat egy célzottabb zajsűrés alkalmazása, mellyel a találati pontosság javítható. Mivel egy hatékony csontárnyék kompenzáló algoritmus már a rendelkezésemre állt, kutatásom középpontjába ennek alkalmazását helyeztem kerekárnyékok hatékonyabb felismerése érdekében. Lemértem az elérhető javulást, illetve olyan képleírókat alakítottam ki, melyek segítenek a hamis találatok kiszűrésében a bordázat helyzetét felhasználva.

A hamis pozitív találatok szűréséhez a legtöbb létező módszer osztályozó algoritmusokat alkalmaz, melyek képleírók vagy képtérbeli hasonlóság függvények alapján működnek. Új jellemzők és hasonlóság függvények javíthatják az osztályozás pontosságát, és a korábbi kutatások számos módszert még nem próbáltak ki a CADe területén. Másrészt viszont a valaha felhasznált jellemzők száma óriási, de hiányzik az egyetértés abban, hogy ezek közül melyek az igazán hasznosak. Új képleírók alkalmazásához hatékony jellemzőkiválasztó módszerek is szükségesek. Kutatásom célja új hasonlóság függvények és jellemzők kifejlesztése és ezek hatékony kombinációja volt, mellyel az osztályozás pontosságát igyekeztem javítani.

A hagyományos mellkasröntgennel ellentétben a DTS modalitással eddig kevés, a CADe módszerekhez köthető kutatás foglalkozott, emiatt még nagyon sok kérdés nyitva áll. A CT rokonterület irodalmából kiindulva és a DTS-felvételeket vizsgálva az elváltozások kiemelése, továbbá az érhálózat és a hörgők feltérképezése tűnik a legfontosabb feladatnak. Ezekre a problémákra a CT- és hagyományos mellkasröntgen-alapú módszerek között számos ígéretes megoldás található. A nyitott kérdés tehát, hogy ezek a módszerek a DTS-felvételekre alkalmazhatók-e, ha igen, akkor milyen módon és melyik módszer teljesíti a legjobban. Ezt igyekeztem megválaszolni

elváltozások felismerésére, valamint az érhálózat és a hörgők feltérképezésére alkalmas algoritmusok kialakításával, adaptálásával, alkalmazásával és összevetésével DTS-felvételeken.

Egy további megválaszolatlan kérdés, hogy vajon a DTS-alapú CADe jobban teljesít-e a mellkasröntgen-alapúnál a tüdőbetegségek felismerését tekintve, és ha igen, mennyivel. Az összehasonlítás eddig nem volt lehetséges, mivel korábban nem létezett a DTS modalitást vizsgáló publikált eredmény nyilvános adatbázist felhasználva. A kutatásom korábbi eredményeit kombinálva a két terület CADe képességeit vetettem össze a lehetőségekhez mérten korrekt módon.

## 4. A disszertáció új tudományos eredményeinek összefoglalása

### 4.1. Szűrőalgoritmusok léziók kiemelésére vetületi felvételeken

Az eredményeim első köre önálló szűrőalgoritmusokkal foglalkozik, melyek meghatározott alakzatokat emelnek ki, és figyelembe veszik a radiográfiás felvételek jellegzetességeit. Az új módszerek kidolgozása mögötti motiváció a következő volt. Egyrészt cél volt a meglévő algoritmusoknál pontosabb, a feladatot jobban teljesítő szűrők megalkotása. Másrészt szempont volt, hogy az új módszerek jól alkalmazhatók legyenek szakértőegyüttesekben, például egészítsék ki egymás találatait. Az együttes alkalmazással a 2. és a 3. téziscsoport foglalkozik.

**1. téziscsoport.** *Új szűrőalgoritmusokat fejlesztettem ki radiográfiás felvételek elemzésére, és demonstráltam, hogy ezek pontosabbak a korábbi létező módszereknél az elváltozás felismerés egyes részproblémáin.*

**1.1. tézispont: Konvergencia index szűrők.** *Megalkottam a korlátozott csúszó sáv szűrőt kerek alakzatok kiemelésére, a már létező konvergencia index szűrők általánosításaként. A korábbi módszerekkel összehasonlítva az*

*új szűrő egyrészt az alakzatok körének pontosabb korlátozását teszi lehetővé, ezzel pontosítva a találatokat, másrészt a gradiens vektorok nagyságának figyelembe vételével javítja a szűrő robusztusságát strukturált zajjal szemben. Kísérleti úton megmutattam, hogy az új szűrő felülmúlja a korábbi változatokat mind deformált kerek alakzatok kiemelésében, mind az elváltozások keresés feladatán mellkasröntgen-felvételeken. Megmutattam, hogy az új módszer algoritmikus komplexitása nem nagyobb a létező módszerekénél. Az új szűrő első megjelenése: G. Orbán, Á. Horváth, és G. Horváth, 2010.*

**1.2. tézispont: Foltkiemelés alakzatok határán.** *Egy foltkiemelő szűrőt fejlesztettem ki, mely a háttér szegmentációját felhasználva képes csökkenteni a strukturált zajjal szembeni érzékenységét. Ehhez egy olyan lokális kontraszt-kiegyenlítő módszert dolgoztam ki, mely képes felhasználni a szegmens határokat. Az eljárást egy illesztett szűrővel egészítettem ki. Ahhoz, hogy a módszert radiográfiás felvételeken jobban alkalmazhatóvá tegyem, egy a problémához optimális sablont származtattam az illesztett szűrőhöz, továbbá a keresési teret szűkítettem egy egyszerű tüdőmodell alapján. A radiográfia különböző területeiről származó felvételeken demonstráltam a módszer alkalmazhatóságát, és hogy az felülmúl egy választott alaplómódszert. Az új szűrő első megjelenése: G. Orbán és G. Horváth, 2012a.*

**1.3. tézispont: Elváltozások felismerése kiugró értékek alapján.** *Megalkottam egy szűrőt kiugró értékek kiemelésére, mely a felvételek lokális intenzitás eloszlásának becslésén alapul. Az új szűrőt adaptáltam mellkasröntgen-felvételek elemzésére egy gyors, közelítő képregisztrációs módszer kialakításával. A regisztráció robusztussá tételéhez egy tüdőszegmentációhoz kötött koordináta-rendszert definiáltam. Az új szűrő képességeit az infiltrátum kiemelés problémáján demonstráltam mellkasröntgen-felvételeken. Az új módszer első megjelenése: G. Orbán és G. Horváth, 2012b.*

**Az eredmények részletezése.** *Az első tézispont eredménye a konvergencia index szűrőcsaládot általánosítja. Ezek a szűrők gömbszerű alakzatokat emelnek ki, leginkább a gradiens vektorok iránya alapján. A konvergencia index szűrők eredeti ötletét Kobatake és*

Hashimoto, 1999 írta le, melyet ezután számos alkalommal finomítottak és alkalmaztak radiográfiás felvételek elemzésére, például Pereira, Mendonça, és Campilho, 2007. A jelenlegi változatok pontossága romlik, ha a kiemelni kívánt alakzat eltér a tökéletes gömb formától, illetve ha a felvétel strukturált zajjal terhelt. Az általam javasolt megoldás a szűrőcsalád legfejlettebb tagjának inkrementális javítása a következő módokon. Egyrészt egy alakzatot korlátozó paraméterrel javítottam a szűrő precizitását olyan problémák esetén, ahol a síkban a célalakzat meghatározott módon eltérhet az ideális kör-től. Másrészt javítottam a szűrő zavaró háttéralakzatokkal szembeni toleranciáját egy gradiens erősségét figyelembe vevő taggal.

Burgess, X. Li, és Abbey, 1997 és Samei, Flynn, és Eyler, 1999 kutatásai szerint a radiográfiás felvételek elemzésekor a strukturált zaj komolyabb problémát jelent, mint a széles spektrumú vagy véletlen zaj. A második tézispont módszere egy speciális esettel foglalkozik, ahol a zaj forrása egy ismert háttéralakzat. A megoldáshoz az illesztett szűrőből és lokális kontraszt-kiegyenlítés módszeréből (lásd Lee, 1980) indultam ki. A módszer erőssége a célzott speciális esetek kezelése, ami ideálissá teszi arra, hogy meglévő CADE módszerek találati körét bővítse egy szakértőegyüttesben.

A harmadik tézispont kontribúciója az alakzatfelismerés egy másik speciális esetére koncentrál, ahol az alakzat geometriája nem ismert, de a háttérmintázat hasonló az egyes felvételeken. Ilyen jellegű valós probléma például az infiltrátumok kiemelése mellkasröntgenfelvételeken. A megoldás a kiugró értékek kiemelésének általános ötletéből indul ki, mely egy gyakori probléma a statisztika területén. Ahhoz, hogy a módszert alkalmazni lehessen, egy gyors, közelítő képregisztráló eljárás megtervezésére volt szükség. A megoldáshoz a már rendelkezésre álló tudőszegmentáció eredményét használtam fel. A munkám demonstrálja a kiugró érték kiemelés alkalmazhatóságát egy új területen, miközben hatékony megoldást ad az alakzatfelismerés tárgyalt speciális esetére.

## 4.2. Heterogén források fúziója a lézió felismerés javítására

Napjainkban a szakértőegyüttes paradigma egyre több figyelmet kap. Számos komplex probléma esetén a legjobb megoldást nem egy önálló és hatékony algoritmus adja, hanem több módszer kombinációja, még ha azok egyenként nem is adnak megfelelő eredményt.

Alapmódszerekre és alkalmazásukra is számos példa található a szakterület irodalmában. Az alaptechnikákat például Zhou, 2012 foglalta össze. Az eredmények nem csak a gépi tanulás területén alkalmazhatók, erre példa az automatikus kerekárnyék kereső verseny (Automatic Nodule Detection 2009, ANODE09) résztvevőiből kialakított együttes, mely az összes résztvevő eredményét felülmúlta (lásd Bram van Ginneken et al., 2010).

Eredményeim második csoportja a szakértőegyüttesek újfajta alkalmazásaira koncentrálnak, hogy javítsa az elváltozás felismerés eredményét radiográfiás felvételeken. A 2.1 és 2.2. tézispont képszűrő módszerek kombinálására koncentrálnak, a 2.3. tézispont pedig az osztályozó jellemzők kombinációjával foglalkozik.

**2. téziscsoport.** *Különböző módszerek együttes alkalmazására javasoltam új eljárásokat, hogy javítsam a radiográfiás képelemzés pontosságát. Az eredményekkel demonstráltam, hogy a szakértőegyüttesek alkalmazásával javulás érhető el mind a képszűrő algoritmusok, mind az osztályozáshoz használt kernelfüggvények kombinálása esetén.*

### 2.1. tézispont: Heterogén alakzatfelismerő szűrők kombinálása.

*Kialakítottam egy elrendezési sémát és egy az eredményeket egyesítő algoritmust alakzatfelismerő szűrők kombinálására. Bebizonyítottam, hogy a módszer optimális, ha a célfüggvény az ún. "szabad-válaszú vevő működési karakterisztika" (free-response receiver operating characteristic, FROC) alatti terület. A módszert alkalmaztam elváltozások felismerésére mind mellkasröntgen, mind DTS-felvételeken. Mérésekkel igazoltam, hogy az új módszer javítja a találati pontosságot a kiinduló módszerekhez és egy szakértőegyüttes alapmódszerhez képest is. A módszer eredeti ötlete az alábbiakban került publikálásra: G. Orbán és G. Horváth, 2012b.*

**2.2 tézispont: Háttérstruktúrák kompenzációja.** *Mérésekkel megmutattam, hogy a csontok árnyékának kompenzációja javítani tudja az automatikus elváltozás felismerés pontosságát mellkasröntgen-felvételeken. Képleírókat fejlesztettem ki egy tanuló algoritmus számára, és nagy mintán végzett kiértékeléssel demonstráltam, hogy azok segítenek kiszűrni a csontok árnyékai által okozott hamis találatokat. Az eredményeket a következő publikációban ismertettem: Áron Horváth et al., 2013. Egy előzetes változat megtalálható a Simkó et al., 2009 hivatkozás alatt.*

**2.3. tézispont: Kernel függvények elváltozások osztályozására.** *Új kernelfüggvényeket fejlesztettem ki elváltozások osztályozására három különböző megközelítéssel. Már meglévő és új képjellemezőket kombináltam, hogy egy jellemzőtérbeli kernelfüggvényt építsek, majd ennek bemeneti dimenziószámát csökkentettem a ritka Bayes-i tanulás (sparse Bayesian learning) alkalmazásával. Ezen felül közvetlenül képtérben dolgozó kernelfüggvényeket módosítottam, hogy alkalmazhatók legyenek radiográfias felvételeken. Végül a páciens korából és egy tüdőfolyadék detektor eredményéből, azaz nem lokális képtulajdonságokból építettem új kernelfüggvényeket. A radiográfias képelemzés problémáin demonstráltam, hogy mindhárom módszer képes a hamis elváltozások megkülönböztetésére. Az ismertetett kernelfüggvények kombinálására egy új módszert javasoltam, mellyel nagyobb pontosságot értem el. A képtérben működő kernelfüggvényeket és a kombinációs módszert a következő helyen publikáltam: G. G. Orbán és Gábor Horváth, 2017.*

**Az eredmények részletezése.** A téziscsoport első része új módszert ad alakzatfelismerő algoritmusok együttes alkalmazására. A cél az egyes szűrők kimenetének egyesítése úgy, hogy optimalizálja az FROC görbe alatti területet, mely a radiográfia-alapú képelemzés leggyakoribb mérőszáma (lásd Chakraborty és Winter, 1990). A bemutatott megoldás általános célú, de az alkalmazási példák a radiográfias képelemzés területéről származnak. A mellkasröntgen és a DTS-felvételeken történt mérések két különböző célt szolgáltak. Az előbbi



azt mutatta meg, hogy a módszer képes a találatok körének bővítésére anélkül, hogy több hamis találatot adna. Utóbbi a pontosság javulására mutatott példát, miközben a találatok köre nem változott.

A második rész a zavaró anatómiai struktúrák kompenzálását vizsgálja. A mellkasröntgen-felvétel elemzés nehézségének egyik fő oka, hogy a felvételeken sok különböző anatómiai struktúra van jelen, és ezek árnyékai átlapolódnak. A jelenlegi CADe rendszerek pontatlan találatok nagyrészt ennek a jelenségnek tudhatók be. A kulcscsont és a bordák jelenléte kétféle módon vezetheti félre a felismerő rendszereket. Egyrészt elfedhetik az elváltozások árnyékait vagy úgy, hogy sötétítik a felvétel adott részét, csökkentve a kontrasztot, vagy úgy, hogy növelik az adott területen található élek és intenzitásváltozások számát, torzítva az elváltozás képét. Ez hamis negatív eredményeket okozhat. Másrésztől a csontok árnyékainak kereszteződése konvex alakzatokat hozhat létre a felvételen, ami hasonlíthat egy elváltozásra. Ez hamis pozitív találatokat eredményezhet. A két jelenség mind a vizsgálatot végző személy, mind a CADe rendszer számára nehézségeket okozhat; az első, elváltozásokat elfedő jelenség inkább a humán vizsgálónak, az utóbbi, hamis találatokat eredményező főleg a gépi felismerőnek okoz problémát.

Közelmúltbeli kutatások megmutatták, hogy a csontok árnyékának elnyomása segít a humán elemzőknek elváltozások keresésekor, lásd Freedman et al., 2011, Soleymanpour, Pourreza, et al., 2011 és F. Li et al., 2011 munkáit. Az én kutatásom célja az volt, hogy egy hasonló összefüggést demonstráljak gépi elemzők, azaz CADe rendszerek esetén, illetve hogy egy hatékony módot javasoljak a csontárnyékmentes képek felhasználására. A felhasznált csontárnyék kompenzáló algoritmus nem a saját munkám, és az alábbi publikációban került ismertetésre: Áron Horváth et al., 2013.

A harmadik, egyben utolsó részben az elváltozások osztályozásával foglalkoztam kernel módszerek segítségével. A kernel módszerek – például a Cortes és Vapnik, 1995 által bevezetett szupport vektor gép (support vector machine, SVM) – igen népszerűek alakzatfelismerési és vizuális osztályozási feladatokban. Mivel a választott

kernelfüggvény képességei alapvetően határozzák meg az alkalmazás sikerét, már eddig is rengeteg munkát fektettek speciális, vizuális osztályozáshoz igazodó kernelfüggvények kutatásába. Munkám során három alapvetően különböző megközelítés szerint alakítottam ki új kernelfüggvényeket, majd ezeket kombináltam, javítva az osztályozás pontosságát.

A leggyakoribb megközelítés a jelenlegi CADe rendszerekben a következő: a szerzők számos, egyedileg fejlesztett, gyakran heurisztikus képjellemzőt implementálnak, majd az ezekből adódó vektort használják egy általános kernelfüggvény bemeneteként. A jellemzőknek jól kell szeparálniuk a valós és hamis találatokat, ellenben túl sok jellemző nehezíti az általánosítást. A probléma megoldásához új jellemzőket fejlesztettem a korábbi kutatásokból átemeltek mellé, és egy jellemzőkiválasztó módszert alkalmaztam a bemeneti dimenziószám csökkentésére. A kiválasztó algoritmus Tipping, 2001 és Wipf és Nagarajan, 2007 munkáira építve a ritka Bayes tanulás (sparse Bayesian learning) elvét alkalmazza.

A második megközelítés a kernelfüggvényeket közvetlenül az osztályozandó képek terében definiálja. Ez a megoldás gyakori az általános alakzattfelismerési problémák esetén, ellenben elváltozások osztályozására még nemigen alkalmazták. Az általam javasolt megoldás az ún. kernel deszkriptorokra épít Bo, Ren, és Fox, 2010 művéből. A kernelfüggvényeket adaptáltam a radiográfiás felvételek sajátosságaihoz, melyek például a korlátozott színtér, az átfedő-átlátszó alakzatok, a kevésbé határozott élek és a magasabb felbontás.

A harmadik megközelítés motivációját a következő megfigyelés adta. A radiológiai szűrési gyakorlatban maga a felvétel csak egy részét adja az analízishez szükséges információnak. A gyakorlott radiológusok figyelembe veszik a páciens adatait, kórtörténetét és betegségeknek a felvételen nem látható tüneteit is. Munkám során az elváltozások osztályozását javítottam nem lokális képi információ bevonásával, pontosabban a páciens korának és egy tüdőfolyadék felismerő rendszer kimenetének felhasználásával. Az alkalmazott tüdőfolyadék felismerő módszer nem a saját munkám, lásd Kormányos, 2013.

Mindhárom megközelítés képes az elváltozások szeparálására, de a legnagyobb pontosság érdekében együtt érdemes alkalmazni őket. Ennek érdekében egy lineáris, kerneleket tanuló (multiple kernel learning) módszert alakítottam ki, melynek erőssége, hogy jól kezeli a nagyon különböző szeparáló képességű kernelfüggvényeket.

A jellemzőkiválasztással és a nem lokális képi információval kapcsolatos eredmények még nem kerültek publikálásra.

### **4.3. Számítógéppel támogatott felismerés digitális tomoszintézis felvételeken**

A disszertációm harmadik részében a digitális tomoszintézis (digital tomosynthesis, DTS) elemzésével kapcsolatos problémákkal foglalkoztam. A DTS egy ígéretes modalitás tüdőelemzésre, többek között, mivel a kisebb elváltozások is láthatóak a felvételeken, miközben a sugárdózis mérsékelt a CT esetében előfordulóhoz képest. Másrészt viszont CADe rendszerek nem állnak rendelkezésre a modalitáshoz, továbbá nem tisztázott, hogy vajon hatékonyabb eszköz-e tüdőszűrés esetén, mint a hagyományos mellkasröntgen.

Korábban már kimutatták, hogy vizsgáló személyek DTS-felvételek alapján jobb találati arányt érnek el, mint hagyományos röntgenfelvételeket elemezve (lásd Vikgren et al., 2008). Ellenben automatikus felismerőkre vonatkozóan még nem publikáltak hasonló eredményt. A kutatásom során kidolgozott DTS CADe módszerekkel ez utóbbi kérdés eldöntéséhez igyekeztem hozzájárulni: a 3.1 és 3.2 tézispontok a DTS-felvételek automatikus elemzésének részproblémáival foglalkoznak, melyet követően a 2. alkalmazásban a módszereket egyesítem egy CADe rendszerré, majd összehasonlítom egy mellkasröntgen-alapú sémával azonos pácienseken.

Egy képfeldolgozási problémaként megközelítve, a vizsgálat tárgya egy háromdimenziós intenzitás kép, a cél pedig az elváltozás modelljének megfelelő alakzatok megtalálása. Ebből adódóan számos módszer kölcsönözhető korábbi CT CADe kutatásokból. Másrészt viszont a DTS problémának sok eltérő, egyedi tulajdonsága van.

Például a felvételezés geometriája miatt igen gyenge a mélységi felbontás az anterior/posterior tengely mentén, ellenben a koronális síkban lényegesen jobb, mint a CT esetében. Ezeket a hatásokat figyelembe kell venni egy pontos és hatékony felismerő megtervezésénél.

**3. téziscsoport.** *Új módszereket dolgoztam ki az érhálózat és az elváltozások kiemelésére digitális tomoszintézis felvételeken. Az új eljárások segítségével egy teljes elváltozás felismerő rendszert alakítottam ki, melyről mérésekkel megmutattam egy nagy mintán, hogy jobb felismerési pontosságot képes elérni egy mellkasröntgen-alapú CADe rendszerhez képest.*

**3.1. tézispont: Érhálózat és hörgők szegmentációja.** *A Frangi-féle érkereső adaptációját dolgoztam ki DTS-felvételek elemzésére. A módszer kiértékelésével demonstráltam, hogy az hatékonyan kiemeli az érhálózatot és a hörgőket. Mérésekkel megmutattam, hogy az érhálózat és a hörgők szegmentálása a DTS esetében is képes pontosítani az elváltozás felismerő eljárás eredményét. A munkám részben a következő helyen publikáltam: Gergely Orbán és Gábor Horváth, 2014.*

**3.2. tézispont: Alakzatfelismerő módszerek összevetése.** *Létező alakzatfelismerő algoritmusokat adaptáltam elváltozások kiemelésére DTS-felvételeken. Egy új, Hesse mátrix-alapú szűrőt alakítottam ki, mely jobban alkalmazkodik a DTS-felvételek jellegzetességeihez. A módszereket összehasonlítottam egy nyilvánosan elérhető képadatbázist felhasználva, ahol az új szűrő bizonyult a legpontosabbnak. Az eredményeim egy része a következő publikációban jelent meg: Gergely Orbán és Gábor Horváth, 2014.*

**Az eredmények részletezése.** *A radiográfias mellkasfelvételek egyik közös tulajdonsága, hogy megjelennek rajtuk az érhálózat és a hörgők. Ezek a struktúrák gyakran hasonlítanak elváltozások képeire, például amikor egy ér merőleges a vizsgált síkra. Következésképp a szegmentációjuk fontos, sokszor nélkülözhetetlen kiegészítője egy elváltozás-felismerő rendszernek, hogy ezáltal csökkenjen a hamis*

találatok száma. Az erezet és a hörgők jelenléte a tüdő egyes területein önmagában is diagnosztikai értékkel bír, tehát megtalálásuk nem kizárólag az elváltozások felismerése miatt fontos.

A 3.1 tézispontban kialakított módszer alapjául egy jól ismert érkereső algoritmust választottam (lásd Frangi, 2001), mely az orvosi képfeldolgozás egyéb területein már sokszor bizonyított. A módszer hatékonynak bizonyult a következő módosítások után: először megváltoztattam a szűrő választását, hogy jobban kezelje a DTS-felvételeken jellemző erős mélységi elmosást, majd az eljárást egy utófeldolgozó lépéssel egészítettem ki, mely a tüdőszegmentáció alapján korrigálta a hibás kiemeléseket.

A 3.2 tézispontban az elváltozás keresésre koncentráltam. Korábban kevesen kutattak DTS-alapú CADe rendszereket, beleértve az elváltozás-kiemelő szűrőket is: eddig csak néhány eljárást vizsgáltak korábbi művekben, és egyiket sem értékelték ki nyilvános képadatbázison. A rokon problémák korábbi kutatásai ellenben számos módszert vonultatnak fel, melyeket érdemes lehet adaptálni. Jelen rész fő célja, hogy összehasonlítsa létező és új detektorokat gömbszerű alakzatok kiemelésére, és kiválassza a DTS alkalmazás szempontjából legjobbakat, melyek egy CADe rendszerben alkalmazhatók lehetnek. Ehhez kapcsolódóan különböző paraméter kiválasztási problémákkal is foglalkoztam. Az összehasonlításhoz kiválasztott módszerek a következők voltak: egy korábban érhálózat keresésre használt algoritmus adaptációja (lásd Frangi, 2001), egy alternatív, a második deriváltakon alapuló szűrő (lásd Feuerstein et al., 2009), a népszerű Hesse determináns (determinant of Hessian, DoH) folt-detektor, az illesztett szűrő (lásd WEI et al., 2010), a CSBF szűrő, melyet az 1.1. tézispontban javasoltam, illetve egy másik saját kontribúció, egy Hesse mátrix-alapú szűrő.

## **5. Az új eredmények gyakorlati alkalmazásai**

**1. alkalmazás: Egy elváltozás-felismerő CADe rendszer mellkasröntgen felvételekhez.** Az első alkalmazás célja, hogy az 1. és 2.

téziscsoportok eredményeit felhasználva adjon egy megoldást az elváltóság-felismerés problémájára mellkasröntgen felvételeken. Már léteznek korábban publikált módszerek, például Chen, Suzuki, és MacMahon, 2011; Snoeren et al., 2010; Hardie et al., 2008; Campadelli, Casiraghi, és Artioli, 2006; A.M.R. Schilham, Van Ginneken, és Loog, 2006; Coppini et al., 2003; Wei et al., 2002, de jelenleg még a legjobb megoldások pontossága is alulmúlja a gyakorlott emberi vizsgálókét. Az általam javasolt módszer egy lépést tesz a megoldás irányába azzal, hogy kombinálja a legtöbb, a disszertáció során korábban bemutatott módszert. A méréseknél nagy hangsúlyt fektettem az összehasonlíthatóságra, részben azzal, hogy egy publikusan elérhető adatbázist használtam, lásd Shiraishi et al., 2000, részben pedig azzal, hogy a találatok kiértékelésekor többféle elfogadási kritériumot is összevettem. Az eredmények első változata a következő publikációban került ismertetésre: G. Orbán és G. Horváth, 2012b.

Az előállt CADe alkalmazás jelenleg egy kereskedelmi forgalomban is elérhető röntgenállomás szoftverének képezi részét. A tüdőképek elemzésére képes rendszer egy közös projekt eredménye, melyben az Innomed Medical Zrt., a Semmelweis Egyetem Pulmonológiai Klinika és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem vettek részt, és a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség támogatta a KMOP-1.1.1-07/1-2008-0035 szerződés alatt. Az elkészült rendszert jelenleg több tüdőszűrő állomáson is használják Magyarországon.

**2. alkalmazás: Egy elváltóság-felismerő CADe rendszer digitális tomoszintézishez.** A második alkalmazásként egy DTS-alapú CADe rendszert fejlesztettem ki, felhasználva a disszertációm korábbi eredményeit. Demonstráltam, hogy az eredményül kapott CADe rendszer pontosabb lehet elváltóságok automatikus keresése esetén, mint egy hasonló rendszer mellkasröntgen-felvételeket használva. Összehasonlítási alapként az 1. alkalmazásban bemutatott módszert használtam. A méréseket mindkét modalitás esetén azonos páciensek felvételein végeztem. A javasolt CADe séma a következő helyen került publikálásra: Gergely Orbán és Gábor Horváth, 2014.

Jelen alkalmazás fő célját az jelentette, hogy hasznos részkomponenseket szolgáltatson egy fejlesztés alatt álló DTS-alapú vizsgálati eszközhöz. A fejlesztésben az Innomed Medical Zrt., a Semmelweis Egyetem Pulmonológiai Klinika és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem vettek részt, és részben a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség támogatta a KMR-12-1-2012-0122 szerződés alatt.

## Saját publikációk

- Bartusek, D., A. Nagy, Z. Süttő, Á. Horváth, J. Nagy, G. Orbán, Á. Horváth, és G. Horváth (2011). „Early lung cancer detection using decision support system based on different symptoms on chest radiographs”. In: *14th World Conference on Lung Cancer, Amsterdam, 3-7 July 2011*.
- Hadházi, D, B Czétényi, Á Horváth, G Orbán, és G Horváth (2015). „Lung nodule volume measurement using digital chest tomosynthesis”. In: *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2015 IEEE International*. IEEE, pp. 2026–2031.
- Horváth, Á, D Bartusek, G. Orbán, Á Horváth, és G. Horváth (2011). „Mellkasdiagnosztika – CAD rendszer segítségével hatékony támogatás tüdőbetegségek korai felismerésében”. In: *IME X.2*, pp. 40–44.
- Horváth, Á., D. Bartusek, Z. Süttő, A. Nagy, Á. Horváth, G. Orbán, és G. Horváth (2010). „Computer-aided detection in Chest Screening – new attempt to detect lung cancer”. In: *12th Central-European Lung Cancer Conference, Budapest, 2-4 December 2010*.
- Horváth, Áron, Gergely Gyula Orbán, Ákos Horváth, és Gábor Horváth (2013). „An X-ray CAD system with ribcage suppression for improved detection of lung lesions”. In: *Periodica Polytechnica – Electrical Engineering and Computer Science*. DOI: 10.3311/PPee.2079.
- Horváth, G., G. Orbán, és Á Horváth (2009). „Tüdődiagnosztikai CAD rendszer”. In: *IME - Képző Diagnosztikai Különszám 8*, pp. 13–16.

- Horváth, G., G. Orbán, Á. Horváth, G. Simkó, B. Pataki, P. Máday, S. Juhász, és Á. Horváth (2009). „A CAD System for Screening X-ray Chest Radiography”. In: *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, September 7-12, 2009, Munich, Germany*. Springer, pp. 210–213.
- Kapelner, T., G. Orbán, és G. Horváth (2012). „An improved wavelet-based contralateral subtraction algorithm”. In: *Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2012 IEEE International Symposium on*. IEEE, pp. 1–5.
- Orbán, G., Á. Horváth, és G. Horváth (2010). „Lung Nodule Detection on Rib Eliminated Radiographs”. In: *XII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2010*. Springer, pp. 363–366.
- Orbán, G. és G. Horváth (2012a). „A Hybrid Lung Nodule Detection Scheme on Chest X-ray Images”. In: *5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering*. Springer, pp. 603–606.
- (2012b). „Algorithm fusion to improve detection of lung cancer on chest radiographs”. In: *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics* 5.1, pp. 111–144.
- Orbán, Gergely (2009). „Investigation of lung nodule detection methods for the analysis of chest radiographs”. MA thesis. Budapest University of Technology és Economics.
- (2010). „Detection of Lung Nodules on Chest Radiographs”. In: *Proceedings of the 17th PhD Minisymposium*. Budapest University of Technology, Economics, Department of Measurement, és Information Systems, pp. 20–21.
- (2011). „A Hybrid Lung Nodule Detection Scheme on Chest X-ray Images”. In: *Proceedings of the 18th PhD Minisymposium*. Budapest University of Technology, Economics, Department of Measurement, és Information Systems, pp. 66–69.
- (2012). „Effects of Bone Shadow Removal on Lesion Detection on Chest Radiographs”. In: *Proceedings of the 19th PhD Minisymposium*. Budapest University of Technology, Economics, Department of Measurement, és Information Systems, pp. 64–67.



- Orbán, Gergely Gy és Gábor Horváth (2017). „Kernel descriptors for chest X-ray analysis”. In: vol. 10134. SPIE, 101343O. DOI: 10 . 1117/12 . 2252846.
- Orbán, Gergely és Gábor Horváth (2014). „Lung nodule detection on digital tomosynthesis images: A preliminary study”. In: *Bio-medical Imaging (ISBI), 2014 IEEE 11th International Symposium on*. IEEE, pp. 141–144.
- Simkó, G., G. Orbán, P. Máday, és G. Horváth (2009). „Elimination of clavicle shadows to help automatic lung nodule detection on chest radiographs”. In: *4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering*. Springer, pp. 488–491.

## Hivatkozások

- Bo, Liefeng, Xiaofeng Ren, és Dieter Fox (2010). „Kernel descriptors for visual recognition”. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 244–252.
- Brenner, David J, Carl D Elliston, Eric J Hall, és Walter E Berdon (2001). „Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT”. In: *American journal of roentgenology* 176.2, pp. 289–296.
- Burgess, Arthur E, Xing Li, és Craig K Abbey (1997). „Nodule detection in two-component noise: toward patient structure”. In: *Medical Imaging 1997*. International Society for Optics és Photonics, pp. 2–13.
- Campadelli, P., E. Casiraghi, és D. Artioli (2006). „A fully automated method for lung nodule detection from postero-anterior chest radiographs”. In: *Medical Imaging, IEEE Transactions on* 25.12, pp. 1588–1603. ISSN: 0278-0062.
- Chakraborty, Dev P és LH Winter (1990). „Free-response methodology: alternate analysis and a new observer-performance experiment.” In: *Radiology* 174.3, pp. 873–881.

- Chen, S., K. Suzuki, és H. MacMahon (2011). „Development and evaluation of a computer-aided diagnostic scheme for lung nodule detection in chest radiographs by means of two-stage nodule enhancement with support vector classification”. In: *Medical Physics* 38, p. 1844.
- Coppini, G., S. Diciotti, M. Falchini, N. Villari, és G. Valli (2003). „Neural networks for computer-aided diagnosis: detection of lung nodules in chest radiograms”. In: *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on* 7.4, pp. 344–357. ISSN: 1089-7771.
- Cortes, C. és V. Vapnik (1995). „Support-vector networks”. In: *Machine learning* 20.3, pp. 273–297.
- De Boo, D.W., M. Prokop, M. Uffmann, B. Van Ginneken, és CM Schaefer-Prokop (2009). „Computer-aided detection (CAD) of lung nodules and small tumours on chest radiographs”. In: *European Journal of Radiology* 72.2, pp. 218–225. ISSN: 0720-048X.
- Doi, K. (2007). „Computer-aided diagnosis in medical imaging: historical review, current status and future potential”. In: *Computerized Medical Imaging and Graphics* 31.4-5, pp. 198–211. ISSN: 0895-6111.
- Feuerstein, Marco, Daisuke Deguchi, Takayuki Kitasaka, Shingo Iwano, Kazuyoshi Imaizumi, Yoshinori Hasegawa, Yasuhito Suenaga, és Kensaku Mori (2009). „Automatic mediastinal lymph node detection in chest CT”. In: *SPIE medical imaging*. International Society for Optics és Photonics, pp. 72600V–72600V.
- Frangi, Alejandro F (2001). *Three-dimensional model-based analysis of vascular and cardiac images*. Ponsen & Looijen.
- Freedman, Matthew Thomas, Shih-Chung Benedict Lo, John C Seibel, és Christina M Bromley (2011). „Lung nodules: improved detection with software that suppresses the rib and clavicle on chest radiographs”. In: *Radiology* 260.1, pp. 265–273.
- Furlow, Bryant (2014). „Low-Dose Computed Tomography Lung Cancer Screening”. In: *Radiologic technology* 85.3, 297CT–314CT.
- Garrison, JB, DG Grant, WH Guier, és RJ Johns (1969). „Three dimensional roentgenography”. In: *American Journal of Roentgenology* 105.4, pp. 903–908.

- Ginneken, B. van, L. Hogeweg, és M. Prokop (2009). „Computer-aided diagnosis in chest radiography: Beyond nodules”. In: *European journal of radiology* 72.2, pp. 226–230.
- Ginneken, Bram van, Samuel G Armato III, Bartjan de Hoop, Saskia van Amelsvoort-van de Vorst, Thomas Duindam, Meindert Niemeijer, Keelin Murphy, Arnold Schilham, Alessandra Retico, Maria Evelina Fantacci, et al. (2010). „Comparing and combining algorithms for computer-aided detection of pulmonary nodules in computed tomography scans: the ANODE09 study”. In: *Medical image analysis* 14.6, pp. 707–722.
- Grant, David G (1972). „Tomosynthesis: a three-dimensional radiographic imaging technique”. In: *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on BME-19.1*, pp. 20–28.
- Hardie, Russell C., Steven K. Rogers, Terry Wilson, és Adam Rogers (2008). „Performance analysis of a new computer aided detection system for identifying lung nodules on chest radiographs”. In: *Medical Image Analysis* 12.3, pp. 240–258.
- Hoop, B. de, D.W. De Boo, H.A. Gietema, F. van Hoorn, B. Mearadji, L. Schijf, B. van Ginneken, M. Prokop, és C. Schaefer-Prokop (2010). „Computer-aided detection of lung cancer on chest radiographs: effect on observer performance”. In: *Radiology* 257.2, p. 532.
- Kobatake, Hidefumi és Shigeru Hashimoto (1999). „Convergence index filter for vector fields”. In: *Image Processing, IEEE Transactions on* 8.8, pp. 1029–1038.
- Kobayashi, T., X.-W. Xu, H. MacMahon, C. Metz, és K. Doi (1996). „Effect of a computer-aided diagnosis scheme on radiologists’ performance in detection of lung nodules on radiographs”. In: *Radiology*, vol. 199, pp. 843–848.
- Kormányos, Balázs (2013). „Lung fluid detection in chest radiographs”. Unpublished draft.
- Kramer, Barnett S., Christine D. Berg, Denise R. Aberle, és Philip C. Prorok (2011). „Lung cancer screening with low-dose helical CT: results from the National Lung Screening Trial (NLST)”. In: *Journal of Medical Screening* 18.3, pp. 109–111. ISSN: 0969-1413,

- 1475-5793. DOI: 10 . 1258 / jms . 2011 . 011055. URL: <http://jms.rsmjournals.com/content/18/3/109> (visited on 03/11/2013).
- Lee, J.S. (1980). „Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics”. In: *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on PAMI-2.2*, pp. 165–168. ISSN: 0162-8828.
- Li, F., T. Hara, J. Shiraishi, R. Engelmann, H. MacMahon, és K. Doi (2011). „Improved Detection of Subtle Lung Nodules by Use of Chest Radiographs With Bone Suppression Imaging: Receiver Operating Characteristic Analysis With and Without Localization”. In: *American Journal of Roentgenology* 196.5, W535–W541.
- MacMahon, H., K. Doi, H.P. Chan, M.L. Giger, S. Katsuragawa, és N. Nakamori (1990). „Computer-aided diagnosis in chest radiology”. In: *Journal of thoracic imaging* 5.1, p. 67.
- MacMahon, H., R. Engelmann, F. M. Behlen, K. R. Hoffmann, T. Ishida, C. Roe, C. E. Metz, és Doi K. (1999). „Computer-aided Diagnosis of Pulmonary Nodules: Results of a Large-Scale Observer Test”. In: *Radiology*. 1999;213:723-726.
- Miller, Earl R, Edward M MoCurry, és Bernard Hruska (1971). „An Infinite Number of Laminagrams from a Finite Number of Radiographs 1”. In: *Radiology* 98.2, pp. 249–255.
- Mountain, C.F. (1997). „Revisions in the international system for staging lung cancer”. In: *Chest* 111.6, p. 1710. ISSN: 0012-3692.
- Muhm, J.R., W.E. Miller, R.S. Fontana, D.R. Sanderson, és M.A. Uhlenhopp (1983). „Lung cancer detected during a screening program using four-month chest radiographs.” In: *Radiology* 148.3, p. 609. ISSN: 0033-8419.
- Pereira, C., A. Mendonça, és A. Campilho (2007). „Evaluation of Contrast Enhancement Filters for Lung Nodule Detection”. In: *ICIAR 2007 Proceedings*. Montreal, Canada, pp. 878–888.
- Plantes, BG Ziedses Des (1932). „Eine neue methode zur differenzierung in der rontgenographie (planigraphies)”. In: *Acta Radiologica* 13.2, pp. 182–192.

- Quekel, L.G.B.A., A.G.H. Kessels, R. Goei, és J. van Engelshoven (1999). „Miss Rate of Lung Cancer on the Chest Radiograph in Clinical Practice\*”. In: *Chest* 115.3, p. 720. ISSN: 0012-3692.
- Radon, Johann (1917). „Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten”. In: *Akad. Wiss.* 69, pp. 262–277.
- Samei, Ehsan, Michael J Flynn, és William R Eyler (1999). „Detection of Subtle Lung Nodules: Relative Influence of Quantum and Anatomic Noise on Chest Radiographs 1”. In: *Radiology* 213.3, pp. 727–734.
- Schilham, A.M.R., B. Van Ginneken, és M. Loog (2006). „A computer-aided diagnosis system for detection of lung nodules in chest radiographs with an evaluation on a public database”. In: *Medical Image Analysis* 10.2, pp. 247–258. ISSN: 1361-8415.
- Shah, P.K., J.H.M. Austin, C.S. White, P. Patel, L.B. Haramati, G.D.N. Pearson, M.C. Shiau, és Y.M. Berkmen (2003). „Missed Non-Small Cell Lung Cancer: Radiographic Findings of Potentially Resectable Lesions Evident Only in Retrospect1”. In: *Radiology* 226.1, p. 235. ISSN: 0033-8419.
- Shiraishi, J., S. Katsuragawa, J. Ikezoe, T. Matsumoto, T. Kobayashi, K. Komatsu, M. Matsui, H. Fujita, Y. Kodera, és K. Doi (2000). „Development of a digital image database for chest radiographs with and without a lung nodule: receiver operating characteristic analysis of radiologists’ detection of pulmonary nodules”. In: *American Journal of Roentgenology* 174.1, p. 71.
- Shlomi, Dekel, Ronny Ben-Avi, Gingy Ronen Balmor, Amir Onn, és Nir Peled (2014). „Screening for lung cancer: time for large-scale screening by chest computed tomography”. In: *European Respiratory Journal*, erj01645–2013.
- Siegel, Rebecca, Jiemin Ma, Zhaohui Zou, és Ahmedin Jemal (2014). „Cancer statistics, 2014”. In: *CA: a cancer journal for clinicians* 64.1, pp. 9–29.

- Snoeren, Peter R, Geert JS Litjens, BV Ginneken, és Nico Karssemeijer (2010). „Training a computer aided detection system with simulated lung nodules in chest radiographs”. In: *Proc. 3rd International Workshop on Pulmonary Image Analysis, Beijing*.
- Sodickson, Aaron, Pieter F Baeyens, Katherine P Andriole, Luciano M Prevedello, Richard D Nawfel, Richard Hanson, és Ramin Khorasani (2009). „Recurrent CT, Cumulative Radiation Exposure, and Associated Radiation-induced Cancer Risks from CT of Adults 1”. In: *Radiology* 251.1, pp. 175–184.
- Soleymanpour, Elaheh, Hamid Reza Pourreza, et al. (2011). „Fully Automatic Lung Segmentation and Rib Suppression Methods to Improve Nodule Detection in Chest Radiographs”. In: *Journal of Medical Signals and Sensors* 1.3, p. 191.
- Tipping, Michael E (2001). „Sparse Bayesian learning and the relevance vector machine”. In: *The Journal of Machine Learning Research* 1, pp. 211–244.
- Vikgren, Jenny, Sara Zachrisson, Angelica Svalkvist, Åse A Johnsson, Marianne Boijesen, Agneta Flinck, Susanne Kheddache, és Magnus Båth (2008). „Comparison of Chest Tomosynthesis and Chest Radiography for Detection of Pulmonary Nodules: Human Observer Study of Clinical Cases”. In: *Radiology* 249.3, pp. 1034–1041.
- WEI, Guo-Qing, Jian-Zhong QIAN, Li FAN, Xiaolan ZENG, et al. (2010). *SYSTEMS FOR COMPUTER AIDED LUNG NODULE DETECTION IN CHEST TOMOSYNTHESIS IMAGING*. WO Patent 2,010,148,330.
- Wei, Jun, Y. Hagihara, A. Shimizu, és H. Kobatake (2002). „Optimal image feature set for detecting lung nodules on chest X-ray images”. In: *Proc. of CARS2002*, pp. 706–711.
- Wipf, David P és Srikantan S Nagarajan (2007). „A new view of automatic relevance determination”. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 1625–1632.
- World Health Organization et al. (2013). *Global tuberculosis report 2013*. World Health Organization.
- Zhou, Zhi-Hua (2012). *Ensemble methods: foundations and algorithms*. CRC press.