

Óbudai Egyetem

Doktori (PhD) értekezés
tézisfüzete



Mamdani-típusú következtetési rendszeren alapuló kockázatkéértékelő módszerek optimalizálása

Tóthné Laufer Edit

Témavezetők:

Rudas Imre, DSc
Takács Márta, PhD

**Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai
Doktori Iskola**

Budapest, 2014. június

1. A kutatás előzményei

Az aktív életvitel kedvező hatásai, melyek mind a prevenció, mind a rehabilitáció során fontos tényezők, napjainkban már mindenki számára ismertek. A rendszeres testmozgás mérsékli a testsúlyt és a vérnyomást, szabályozza a szívritmust, javítja az anyagcsere-folyamatokat, csökkenti a szív- és érrendszeri betegségek, az agyi érkatasztrófa (stroke), a cukorbetegség, a csontritkulás és az ízületi elváltozások kockázatát. Lelki problémák esetén is kedvezően hat, oldja a szorongást, enyhíti a depressziót, ami szintén kedvező hatást gyakorol a szervezetre, ezáltal közvetetten befolyásolja az egészségi állapotot. Ismert tény az is, hogy a testmozgás hiánya hosszú távon egészségromlást eredményez, vagyis rontja az életminőséget. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni azt sem, hogy a nem megfelelő (káros, vagy túlzásba vitt) sporttevékenység veszélyes is lehet. Problémát okozhat, ha nem az adottságainknak, aktuális fizikai állapotunknak megfelelő mozgásformát, intenzitást, gyakoriságot, vagy időtartamot választunk. Annak érdekében, hogy a tevékenység biztonságosan végezhető legyen, figyelembe kell venni a személy alapvető fiziológiai jellemzőit, krónikus betegségeit, az aktuális állapotát, életkorát és számos egyéb tényezőt. A kockázati tényezők nagy száma és a kiértékelés folyamatának komplexitása miatt a kockázati szint kiértékelésére szolgáló valós idejű rendszer megvalósítása indokolt, amely folyamatosan elemzi az éppen aktuális kockázati szintet. Ezekben a rendszerekben a kockázati tényezők leírása kvalitatív és kvantitatív módon egyaránt történhet, azok jellegéhez alkalmazkodva, ezért a kiértékelés során olyan eszközre van szükség, ami képes mindkét bemenettípus kezelésére [1]. A kockázatkezelő rendszereknél gyakran tapasztalható bizonytalanságot, a tényezők meghatározásában és a kiértékelésben rejlő szubjektivitást is figyelembe véve ilyen típusú rendszerekben a lágy számítási módszerek alkalmazására van igény [S4],[S7]. Páciensmonitorozó rendszerekben többnyire nem adhatók meg általánosan az egyes tényezők határértékei. Nincs általános definíció arra, hogy mi tekinthető normális, emelkedett, vagy esetleg abnormális értéknek. Ez az oka annak, hogy a fuzzy megközelítés orvosi alkalmazásokban és a kockázatkezelés területén is előnyösen használható, mivel lehetővé teszi az elmosódott határok alkalmazását [2].

A ma rendelkezésre álló technikai környezet biztosítja a háttérrel ahhoz, hogy különböző monitorozó rendszerek használatával a felhasználó biztonságát növeljük [3],[4],[5]. Ezek szolgálhatják a folyamatos adatrögzítést, melynek segítségével nyomon követhető a páciens állapotának változása és az így nyert adatok akár hálózati kapcsolaton keresztül orvosi adatbázisba is kerülhetnek az esetenkénti kontrollok biztosítására, vagy szolgálhatnak önmagukban kockázatértékelő rendszerként, melynek feladata a veszélyes helyzetekre való figyelmeztetés a fiziológiás jellemzők valós idejű mérésére támaszkodva. Utóbbiak használatakor a figyelmeztető jelzés a helyzet komolyságától függően szólhat a felhasználónak, hozzátartozóinak, vagy orvosnak/kórháznak. Az öregedő népesség problémája miatt ezek a rendszerek elsősorban az idős emberek felügyeletét szolgálják, akik rendszerint valamilyen krónikus betegségben szenvednek és gyakran felügyelet nélkül töltik napjaikat [6]. Az így létrehozott rendszerek segítségével azonban számos veszélyhelyzet megelőzhető, vagy idejében megérkezhet a segítség, így a betegség lefolyása, a kezelés

hatékonysága jelentősen növelhető, illetve csökkenthető a mortalitás [3]. Jellegükből adódóan ezek a monitorozó rendszerek kitűnően alkalmas lehetnek nem csak idős, illetve beteg emberek monitorozására, hanem sporttevékenység közbeni kontrollra is, hiszen a nem megfelelően végzett testmozgás (pl. túlzott intenzitás) is előidézhet veszélyhelyzeteket, illetve látszólag egészséges emberek esetén, illetve gondos állapotfelmérés után is előfordulhatnak váratlan krízis helyzetek. Kutatásom során elsősorban sporttevékenység kockázati szintjének számításával foglalkoztam. Fontos különbség a két felhasználási terület között, hogy míg az idősek felügyeletére létrehozott rendszerekben hosszabb idejű, de nem feltétlenül folyamatos mérés szükséges, addig sportfelügyelet esetén rövidebb [5], de valós idejű monitorozás történik, ami határt szab az alkalmazható modell komplexitásának.

Fuzzy rendszerekben a kvantitatív és a kvalitatív komplexitás egyaránt megfigyelhető, hiszen a megoldandó feladatban megjelenik a bizonytalanság, pontatlanság és szubjektivitás, ami a kvalitatív komplexitás körébe tartozik és a komplexitás menedzsment által csökkenthető, a rendszer mérete pedig a komplexitás kvantitatív részét képezi és különböző redukción technikák léteznek a kezelésére [7]. Kutatásaimat ez utóbbival kapcsolatban végeztem, ezen módszerek legtöbbje a szabálybázis valamilyen módon történő egyszerűsítését tűzi ki céljaul [8]. A kvantitatív komplexitás csökkentésére szolgáló legkézenfekvőbb módszer a strukturális kockázatkezelő rendszerek használata, melyek felépítése alkalmazásfüggő, de az ilyen típusú komplex rendszerekről általánosságban elmondható, hogy egy csoportosított, többszintű döntési fát alkotnak [9]. A hierarchikus modell széles körben elterjedt, hiszen ennek a felépítésnek köszönhetően a szabályok száma, ezáltal a rendszer komplexitása is csökkenthető [10],[11]. Míg egyszintű rendszerek esetében a szabályok száma a bemeneti paraméterek számával exponenciálisan nő, addig hierarchikus rendszerben ez a növekedés már csak lineáris [12]. Az így létrehozott hierarchia egyes szintjein a csoportok komplexitása tovább csökkenthető, hiszen a matematikailag nem leírható algoritmusok esetén célszerűen sűrű szabálybázist kell alkalmazni, ami a szükségesnél jóval több antecedens halmazt alkalmaz, így növelve a rendszer komplexitását és a szabálybázisban tárolt felesleges információ mennyiségét [8],[13]. A probléma kezelésére az irodalomban számos komplexitás csökkentő technika található fuzzy rendszerekre vonatkozóan [14],[15],[16],[17],[18]. Az alkalmazható módszerek két nagy csoportja ismert annak megfelelően, hogy új illetve módosított; vagy az eredeti következtetési rendszert alkalmazzák. Az új vagy módosított következtetés használata akkor célszerű, ha annak számítási bonyolultága kisebb, mint az eredeti rendszerben alkalmazotté. A másik módszer célja a már meglévő szabálybázis redukálása a benne tárolt információk tömörítése és a benne rejlő redundanciák kiszűrése által. Az utóbbi módszer jelentősége abban rejlik, hogy az így létrejött szabálybázis kisebb memória- és számítási kapacitás esetén is jól használható, olyan jellegű rendszerekben, ahol a szabálybázis nem igényel alkalmazás közbeni hangolást, vagyis előre megadható [13].

2. Célkitűzések

A kutatás tárgyát képező sporttevékenység kockázati szintjét meghatározó modellre, mint általában a valós idejű rendszerekre, jellemző a nagyfokú komplexitás, ami mind az adatok

számában, mind ezek összefüggéseinek és szabályrendszereinek bonyolultságában megjelenik. Ebből következően kiemelten fontos feladat a rendszer komplexitásának kezelése, ezáltal a kiértékelés idejének csökkentése. A komplexitás csökkentő eljárások során a cél a kiértékelés gyorsítása olyan módon, hogy közben az eredmény pontossága nem, vagy csak egy előzetesen meghatározott, megengedett mértékben változik. Az eljárások zöme a kvantitatív, vagyis a rendszer méretéből adódó komplexitás csökkentésére szolgál, a leggyakrabban alkalmazott módszereket az értekezésemben ismertetem részletesebben.

Célom olyan komplexitás csökkentő módszerek, illetve algoritmusok kidolgozása, melyek csökkentik a rendszer kiértékelési folyamatának komplexitását, ezáltal a számítási bonyolultságot és a végrehajtási időt, miközben az eredmény pontossága nem romlik, ezáltal komoly problémák előzhetők meg az időben történő riasztás által. Ehhez kapcsolódóan fontos célnak tekintem a fenti technikák alkalmazása által létrehozható, a rendelkezésre álló időhöz és tárkapacitáshoz alkalmazkodó anytime modell kidolgozását is.

A redukciós módszerek alkalmazása során nem minden esetben érhető el ugyanaz a pontosság, mint a teljes modell kiértékelése esetén. Fontos azonban, hogy ez az eltérés ne haladjon meg egy előre meghatározott, megengedett mérték, hiszen ezáltal a redukált rendszer elveszítené hitelességét, használhatóságát. Optimális redukcióról akkor beszélhetünk, ha a redukció mértéke maximális, miközben a redukció következtében keletkező hiba minimális. Hierarchikus felépítésű rendszerekben a hiba nagysága okozta probléma hatványozottan jelentkezik, hiszen az egyes szintek bemenetén az előző szint hibája is megjelenik, így ez a hiba továbbterjed az egész rendszeren. Annak érdekében, hogy ez a hiba kezelhető legyen, szükséges annak továbbterjedési módjának, mértékének ismerete.

Célom egy olyan algoritmus kidolgozása, ami HOSVD redukció során a redukció mértékét maximalizálja, miközben a keletkező hibát minimalizálja. Célom továbbá egy olyan általános képlet meghatározása, ami a HOSVD redukció során továbbterjedő hiba kiszámítására szolgál és a képletben a hibakorlát a körülményeknek megfelelően változtatható, valamint figyelembe veszi azt az esetet, ha nem minden bemeneten van továbbterjedő hiba.

Az orvostudományban ugyan használnak abszolút leírásokat, de valós eredmény csak a személyre szabott határértékek megadásával kapható [19]. Ugyanez igaz sporttevékenység kontrollja közben, hiszen a valós idejű megfigyelés alapját a páciens fiziológias jellemzői képezik, kiegészítve a személyes adottságok leírásával. Ez az igény indokolja, hogy a lágy számítási módszerek használatán túl, a lehetőségekhez mérten felhasználó-specifikus kiértékelést tegyen lehetővé a rendszer, ami az egyéni jellemzőket is felhasználja a kockázat kiszámítása során. A tagsági függvények egyéni hangolása a személyes értékek megadásával alapvető fontosságú annak érdekében, hogy a lehető legmegbízhatóbb kockázati szintet számíthassuk ki. Ez a hangolás megvalósítható valamilyen képlet segítségével a felhasználó adatai alapján, vagy egy flexibilis, adaptív kockázatkiértékelő keretrendszer fejlesztése által. Mindkét megközelítés jóval megbízhatóbb, felhasználó-specifikusabb eredményt ad, mint az abszolút szabályok alapján megalkotott kiértékelő rendszer. Komplex rendszerekben, különösen orvosi alkalmazásokban a bemeneti tényezők nagy között fennálló kölcsönhatások

is komoly problémát okozhatnak. Ezeket a kölcsönhatásokat a lehetőségekhez mérten fel kell térképezni és a megfelelő módon kezelni kell.

Célom egy olyan adaptív rendszer kidolgozása, ami a felhasználó egyéni adottságainak megfelelően hangolható, valamint a tervezés és fejlesztés során beépíthetők az orvosi ajánlások, a szakértői tapasztalatok, ezáltal lehetővé téve a felhasználó adottságaihoz jobban illeszkedő kiértékelést, nagyobb biztonságot nyújtva a felhasználónak. A keretrendszer tervezése során a paraméterek közötti kölcsönhatások beépítése a kiértékelés folyamatába elengedhetetlen, ezt egyénileg kell megvalósítani.

3. Vizsgálati módszerek

3.1. Az elméleti eredmények esetén

3.1.1. A számítási bonyolultság és idő csökkentése valós idejű rendszerekben

A Mamdani és a Takagi-Sugeno típusú kiértékelés előnyeit ötvözi az általam vizsgált diszkrétizált kimenetű Mamdani-szerű kiértékelő modell, melynek lényege, hogy az aggregáció során a szabály következmények képviseltethetők a súlyközéppontjukkal, így jóval csökkentve a számításgényt, de továbbra is lehetővé teszi az intuíció beépítését a modellbe. Az alkalmazás során a hagyományos Mamdani-típusú kiértékelés lépéseinek sorrendje (a megfigyelés és az antecedensek illesztése, illetékességi szint kiszámítása, implikáció, aggregáció, defuzzifikáció) felcserélődik, a kimeneteket külön-külön kell defuzzifikálni az illetékességi szint meghatározása és az implikáció után, majd ezt követi az aggregáció. Az ekvivalenciát különböző fuzzy operátorok esetén vizsgáltam az implikáció, aggregáció és defuzzifikáció során.

Mamdani a fuzzy szabálypremissza és szabály-következmény közötti kapcsolatot leegyszerűsítve az implikáció helyett **ÉS** kapcsolatot modellezett, ezért a Mamdani-implikáció a gyakorlatban t-normakén modellezhető. Ezek közül a gyakorlatban legelterjedtebben használt minimum és algebrai szorzat operátor mellett a Hamacher szupernormát alkalmaztam, melyek definícióját a következőkben adom meg.

Min operátor (Zadeh-féle t-norma):

$$t(a,b) = \min(a,b) \quad (1)$$

Algebrai szorzat:

$$t(a,b) = ab \quad (2)$$

A Hamacher t-norma kétváltozós esetben:

$$t(a,b) = \frac{ab}{\gamma + (1-\gamma)(a+b-ab)} \quad (3)$$

ahol $\gamma \geq 0$.

A vizsgálat során a maximum és a korlátos összeg aggregációs operátorokat alkalmaztam.

Max operátor (Zadeh-féle t-konorma):

$$s(a,b) = \max(a,b) \quad (4)$$

Korlátos összeg:

$$s(a,b) = \min(1, a+b) \quad (5)$$

Mamdani-típusú következtetés esetén az eredményül kapott bonyolult tagsági függvényből egy olyan értéket kell kiszámítani, ami azt a lehető legjobban reprezentálja. Ennek érdekében a Zadeh-féle normák alkalmazásakor a maximumok közepe (MOM), a többi esetben pedig a súlyközpont (COG) módszert használtam.

Mindkét említett defuzzifikációs módszer alkalmazásának előfeltétele, hogy a B^* következtetés tartója intervallum legyen, valamint hogy az alábbi $MAX(B^*)$ halmaz nem üres:

$$\arg \max_y B^*(y) = \{y / \forall y' : B^*(y') \leq B^*(y)\} \quad (6)$$

$$MAX(B^*) = \arg \max_y B^*(y) \quad (7)$$

A COG módszer eredményének meghatározása a következőképpen történik:

$$y_{COG} = \frac{\int_{supB^*} y B^*(y) dy}{\int_{supB^*} B^*(y) dy} \quad (8)$$

A MOM módszer alkalmazásának előfeltétele kiegészül azzal, hogy csak konvex következtetés esetén ad értelmes eredményt, ellenkező esetben elképzelhető, hogy az eredményhez tartozó függvényérték nem a legnagyobbak közül való, így nem reprezentálja kellőképpen az eredmény halmazt.

$$y_{MOM} = \frac{\int_{MAX(B^*)} y dy}{\int_{MAX(B^*)} dy} \quad (9)$$

ahol B^* a következtetés.

Mind a Mamdani típusú, mind a diszkrétizált kimenetű Mamdani-szerű következtetési rendszerekben ugyanaz a szabálykimenet több különböző szabálypremisszához is tartozhat. Ez a jellegzetesség lehetőséget biztosít a kiértékelési struktúra egyszerűsítésére, ezáltal a kiértékelési idő csökkentésére az azonos kimenethez tartozó szabálypremisszák összekapcsolása által. Az összekapcsolás valamilyen diszjunkciós operátor segítségével történhet, ami az összekapcsolandó szabálypremisszák illetékességi szintjeinek unióját állítja elő. Itt a diszjunkciós operátorokat vizsgáltam olyan szempontból, hogy az összekapcsoláshoz használhatók-e, a teljes modellel ekvivalens eredményt biztosítanak-e.

3.1.2. Anytime modell – HOSVD alapú redukció

Az alkalmazott redukciós módszer előfeltétele, hogy az antecedens halmazok Ruspini-partícióban legyenek, vagyis teljesülnie kell a $\sum_{i=1}^n \mu_i(x) = 1$ feltételnek $i=1,2,\dots,n$, $\forall x$ esetén.

Az eljárás során használt t-norma a szorzat operátor:

$$t(a,b) = ab \quad (10)$$

a t-konorma az összeg operátor, a defuzzifikációs eljárás pedig a súlyközpont módszer:

$$y_{COG} = \int_{B^*} B^*(y) y dy / \int_{B^*} B^*(y) dy \quad (11)$$

A redukció alapját képező $\underline{\underline{F}}$ mátrix a konzekvens halmazok súlyközpontját (d_{i_1, \dots, i_N}) és területét (s_{i_1, \dots, i_N}) tartalmazza. Az SVD alapú algoritmus egy valós értékű $\underline{\underline{F}}$ mátrix dekompozícióján alapul, ami a következőképpen írható le.

$$\underline{\underline{F}}_{(n_1 \times n_2)} = \underline{\underline{A}}_{1(n_1 \times n_1)} \underline{\underline{B}}_{(n_1 \times n_2)} \underline{\underline{A}}_{2(n_2 \times n_2)}^T \quad (12)$$

ahol $\underline{\underline{A}}_k$ ($k=1,2$) ortogonális mátrixok, vagyis $\underline{\underline{A}}_k \underline{\underline{A}}_k^T = \underline{\underline{E}}$ és $\underline{\underline{B}}$ diagonális mátrix, ami az $\underline{\underline{F}}$ szinguláris értékeit (λ_i) tartalmazza csökkenő sorrendben. Ezek az értékek jelzik a hozzájuk tartozó $\underline{\underline{A}}_k$ -beli oszlop fontosságát, a szinguláris értékek maximális száma $n_{SVD} = \min(n_1, n_2)$. A mátrixok felbontása az alábbiak szerint történik:

$$\underline{\underline{A}}_k = \left| \begin{array}{c|c} \underline{\underline{A}}_k^r & \underline{\underline{A}}_k^d \\ \hline \underline{\underline{A}}_k(n_k \times n_r) & \underline{\underline{A}}_k(n_k \times (n_k - n_r)) \end{array} \right| \quad (13)$$

$$\underline{\underline{B}} = \left| \begin{array}{c|c} \underline{\underline{B}}^r & 0 \\ \hline 0 & \underline{\underline{B}}^d \end{array} \right| \quad (14)$$

ahol $n_r \leq n_{SVD}$.

Ha $\underline{\underline{B}}^d$ csak nulla szinguláris értékeket tartalmaz, akkor $\underline{\underline{F}} = \underline{\underline{A}}_1^r \underline{\underline{B}}^r \underline{\underline{A}}_2^{rT}$, egyéb esetekben $\underline{\underline{F}}$ csak közelítőleg adható meg $\underline{\underline{F}}' = \underline{\underline{A}}_1^r \underline{\underline{B}}^r \underline{\underline{A}}_2^{rT}$ segítségével. Magasabb dimenziószámú mátrixok esetében szükség van az SVD algoritmus kiterjesztésére, ezt a módszert nevezik HOSVD (Higher Order SVD) módszernek. Ilyenkor a redukció n lépésben hajtható végre, ahol minden lépésben a következményeket tartalmazó $\underline{\underline{F}}$ mátrix egy dimenziója redukálódik. Az algoritmus lefutása után $\underline{\underline{F}}_n$ a redukált szabálybázis következmény részeit tartalmazza, az új tagsági függvények alakja:

$$\mu_{A_{k,i}}(x_k) = \sum_{j=1}^{n_i^r} \mu_{A_{k,j}}(x_k) A_{k,j,i} \quad (15)$$

A redukált szabálybázis szabályainak száma $n_1^r * \dots * n_n^r$ az eredeti $n_1 * \dots * n_n$ helyett [20].

Az algoritmus szerint az aktuális új tagsági függvény értékeinek meghatározása valós időben történik, az előzetesen meghatározott új bonyolult alakú tagsági függvény segítségével (15), ami hierarchikus csoportosított rendszer esetében, a hierarchia több szintjén alkalmazva a módszert, jelentősen növelheti a számításigényt. Ennek csökkentésére egy olyan előfeldolgozó eljárást dolgoztam ki, ami crisp bemenetek esetén az értelmezési tartomány ekvidisztáns felosztásával nyert értékekre, mint bemenetekre rendre kiszámítja a tagsági függvény értékeit, így az új tagsági értékek megkaphatók. Ez az eljárás offline végrehajtható, így a számítási bonyolultságot a kiértékelés során nem növeli, felhasználásával valós időben az új érték kiszámítása helyett, csak egy tömbből kell kiolvasni a megfelelő új tagsági értéket.

Abban az esetben, ha a rendszerben végzett redukció nem pontos, a redukciós hibát is figyelembe kell venni. A HOSVD redukció hibájának meghatározására számos levezetés található a szakirodalomban [21],[22],[23], de többszintű rendszerben az előző szinten keletkezett hiba megjelenik a következő szint bemenetén, ezért a hibaszámításkor azt is figyelembe kell venni. A redukált szabálybázis meghatározása a kimeneti tagsági függvények jellemzői (súlyközpontja és területe) alapján történik, ezért a bemeneten keletkező hiba a szabálybázis-redukció hibáját nem befolyásolja. A hiba továbbterjedésének hatása a bemeneti tagsági függvényeknél jelenik meg, így az új bemeneti tagsági függvények meghatározásakor kell figyelembe venni, azon keresztül gyakorol hatást a kimeneti értékre. A HOSVD alapú redukciós hiba hierarchikus rendszerben értelmezett továbbterjedésére vonatkozó képlet meghatározásakor az egyszintű rendszer kimenetének hibájából indultam ki. A továbbterjedéskor trapéz alakú tagsági függvényeket vizsgáltam, felhasználva, hogy az antecedens halmazok Ruspini-partíciót alkotnak.

Az optimális redukció a lehető legnagyobb mértékű, ugyanakkor a lehető legkisebb hibával jár és a teljes rendszert figyelembe kell venni a meghatározásakor. Erre a célra megfelelő az úgynevezett mohó algoritmuson alapuló technika. Ez egy olyan problémamegoldó algoritmus, ami a feladat megoldásakor döntések sorozatát hajtja végre egy halmazon, ahol jelöltekhez előzetesen valamilyen hasznosságot rendeltünk. Egy egyszerű, könnyen ellenőrizhető kiválasztó függvényt alkalmaz, mely a futás során a jelöltek közül az adott lépésben optimálisnak tűnő megoldást, vagyis a lokális optimumot választja azt remélve, hogy ez által megtalálja a megfelelő megoldást, a globális optimumot elérve [24],[25]. A HOSVD redukció esetén a hasznosság a hibának megfelelően határozható meg, mivel a redukció során keletkező hibát kell minimalizálni. A hasznosság mértéke a szinguláris értékek nagysága lehet úgy, hogy azok egymással fordítottan arányosak, tehát minél kisebb egy szinguláris érték, annál nagyobb a hozzá rendelt hasznosság.

3.1.3. Felhasználó-specifikus tagsági függvény-hangolás szisztolés vérnyomás értékek kiértékeléséhez

A felhasználó-specifikus függvényhangolás esetén egy olyan algoritmust fejlesztettem, ami az alábbi képletek alapján a felhasználó egyéni adottságainak megfelelően hangolja a bemeneti tagsági függvényeket:

$$SBP_{min}(target) = (SBP_{min}^{normal} - SBP_{rest}) * target + SBP_{rest} \quad (16)$$

$$SBP_{max}(target) = (SBP_{max}^{normal} - SBP_{rest}) * target + SBP_{rest} \quad (17)$$

ahol *target* a célzóna középpontja, SBP_{max}^{normal} és SBP_{min}^{normal} az 1. táblázatban látható, a Sieira és társai által kidolgozott módszerben megadott, határértékek [19], SBP_{rest} a nyugalmi pulzusszám értéke.

1. táblázat NORMÁLIS VÉRNYOMÁS VÁLASZOK

Életkor	Férfiak		Nők	
	Szisztolés	Diasztolés	Szisztolés	Diasztolés
20-29	161-203	59-83	136-176	58-82
30-39	164-204	64-88	138-182	63-85
40-49	167-209	68-92	144-190	67-89
50-59	170-216	71-95	153-201	69-93
60-69	173-221	72-96	162-210	68-84
70-79	169-223	71-97	160-210	73-93

A bemenő paraméterek a mért értékek, vagyis a szisztolés vérnyomás (SBP), a diasztolés vérnyomás (DBP) és az aktuális pulzusszám (HR), illetve a függvényhangoláshoz szükséges paraméterek. Ez utóbbi kiegészítő paraméterek az egyéni maximális pulzusszám (HR_{max}), az edzés célja (*target*) a 2. táblázatnak megfelelően, valamint a páciens életkora és neme.

2. táblázat CÉLZÓNÁK

Intenzitás a HR_{max} (bpm) érték %-ában	Kiknek ajánlott
<50%	Orvosi kezelés alatt állók, rehabilitáció, szívbetegség esetén
50-70%	Prevenció, kezdő sportoló, alap tréning
70-95%	Rendszeresen sportolók

3.1.4. Fuzzy alapú kockázatkiértékelő keretrendszer tervezése

A kockázatkiértékelő keretrendszer tervezése, illetve fejlesztése során egy olyan algoritmust és annak háttérét biztosító adatbázissémát hoztam létre, ami kellően flexibilis, nagyfokú adaptációs képességgel rendelkezik miközben alkalmas a páciens-specifikus kiértékelésre. A könnyű bővíthetőség és átláthatóság elérése érdekében egy általánosított moduláris felépítésű rendszerstruktúrát alkalmaztam, melynek alapját a specifikusan paraméterezhető alrendszerek képezik. Az adatbázis megtervezésekor mind az egyed-kapcsolat diagramot, mind a relációs adatbázissémát definiáltam az adatbázis tervezési alapelvek figyelembe vételével, melyek a következők [26]:

1. Valóság-hű modellezés: a terv pontosan feleljen meg a specifikációnak, vagyis az egyedhalmazoknak, azok attribútumainak és a köztük létrejövő kapcsolatoknak értelmesnek kell lenniük.
2. Redundancia elkerülése: a többszöri előfordulás tárigenye nagyobb, módosítási anomáliát okozhat, ezért törekedni kell ennek elkerülésére.
3. Egyszerűség: annyi elem szerepeljen az adatbázistervben, amennyi valóban szükséges.
4. A megfelelő elem megválasztása: A tervezés során el kell dönteni, hogy egy elemet az egyszerűbben implementálható attribútumként, vagy egyedhalmazként használunk.

Fontos szempont volt a tervezés során az is, hogy a felhasználói profilok könnyen bővíthetők, módosíthatók legyenek, az egyes páciensek esetén figyelembe veendő paraméterek halmaza és a hozzájuk kapcsolódó kölcsönhatási mátrix, bővíthető legyen, valamint az ennek hatására bővülő szabályrendszer módosítása is egyszerű legyen. Ezen módosítások mindegyike a szakértő által végrehajtható, programozási feladatot nem igényel.

3.2. A gyakorlati eredmények esetén

Az általam létrehozott, gyakorlatban megvalósított modell személyes adatok alapján kiszámolja a kockázati tényezőt a megadott aktivitási szintre vonatkozóan, ami a sporttevékenység gyakoriságával, intenzitásával és időtartamával jellemezhető [S14]. A számított kockázati szint alapján megmondható, hogy az illető a megadott paraméterek alapján biztonságosan sportolhat-e. A modellstruktúra alapjául a Yizhi Wu és munkatársai által kidolgozott modell szolgál [27], ezt fejlesztettem tovább saját szabályrendszer beépítésével [S2], [S3], [S5], [S15], az alrendszerek bővítésével, különböző redukciós, illetve felhasználó-specifikus függvényhangolást [S16] és anytime üzemeltetést [S,13], [S19] lehetővé tevő módszerek beépítésével. A modellt kezdetben Simulinkben, Matlab Fuzzy Logic Toolbox felhasználásával, majd a könnyebb fejleszthetőség, platform és eszközfüggetlenség érdekében RAD Studio fejlesztői környezetben is megvalósítottam [28].

3.2.1. A gyakorlati megvalósítás során alkalmazott általános módszerek

Az alapmodell validálása érdekében annak eredményeit egy már létező modell eredményeivel vettem össze, majd a későbbiekben ezt a saját modellt használtam referenciaként a bővítések, módosítások során. A teszteléshez minden esetben különböző tipikus felhasználói csoportokat választottam az American Heart Association útmutatói alapján [29], [30], [31], [32], [33]. Az így meghatározott elméleti értékek az Egészségi állapotra vonatkozóan a 3. táblázatban láthatók. Ezek az értékeket használtam bemenetként az összehasonlítandó módszerek mindegyikére, így lehetőség nyílt a számított kockázati szintek összehasonlítására, ezáltal az új eredmények validálására.

3. táblázat EGÉSZSÉGI ÁLLAPOTRA VONATKOZÓ PARAMÉTEREK

Csoport	Dis_con	Phy_sta	Bas_inf
Egészséges felnőtt	0,5	0,5	0,5
Középkorú személy enyhe szívbetegséggel	0,4	0,4	0,7
Egészséges idős ember	0,64	0,5	0,3
50-65 éves személy rossz fizikai állapotban	0,25	0,3	0,5

A crisp halmazokra vonatkozó három alapművelet (konjunkció, diszjunkció, negáció) végtelen sokféleképpen általánosítható fuzzy halmazokra [34]. Ebből következően a problémához igazodva különböző operátorokra végeztem el a vizsgálatokat. A fuzzy logikát alkalmazó modellben, minden egyes csoportot minden vizsgált operátor esetében 480 különböző esetre vizsgáltam a bemenő paraméterek értékének változtatásával. Az eredményeket a korábban validált modellel, illetve egy AHP-FCE modellel hasonlítottam össze [27]. A különbségek jellemzésére kiszámítottam a legkisebb különbséget (Min), a legnagyobb különbséget (Max), az átlagot (Mean), az átlagtól való abszolút eltérés átlagát (Av.D.Av.), a szórást (Disp), valamint a korrelációs együtthatót (Corr) és azon esetek számát, amikor a különbség legalább 0,1 ($\geq 0,1$). Ez utóbbi érték meghatározását indokolja, hogy az egyes kockázati szintek közötti eltérés 0,2 így ha túl sok ilyen eset fordul elő, az már más kockázati szinteket jelent az eredmény értékelésekor.

A fuzzy operátorok összehasonlításakor a bemenetekhez tartozó kockázati szintet ábrázoló felületet is megnéztem minden egyes vizsgált operátorra a Matlab Fuzzy Logic Toolbox használatával. A felületekkel szemben támasztott fontos követelmény, hogy a bemenetek kismértékű változása ne okozzon nagymértékű változást a számított kockázati szintben. Ha ez a feltétel nem teljesül, a vizsgált operátor nem alkalmazható az adott probléma megoldásakor.

3.2.2. A kiértékelő struktúra egyszerűsítése a modellben, anytime modell kidolgozása, HOSVD redukció alkalmazása a kiértékelő modellen

A különböző redukciós módszerek vizsgálatakor a fentiekhez hasonlóan a teljes, illetve a redukált modell eredményének összehasonlításával adtam meg, hogy az adott módszerrel pontos, vagy közelítő eredményt ad a rendszer. Mivel a számítási bonyolultságnak a valós időben kiértékelendő alrendszerek esetében van jelentősége, ezért a redukciót csak ezeken végeztem el, így az eredmények összehasonlításakor is ezeket, illetve a teljes rendszerkimenetet vettem figyelembe. A valós idejű kiértékelésben részt vevő alrendszerek az „aktuális fizikai állapot” leírására szolgáló és ennek kimenetét, mint inputot kiértékelő alrendszerek a hierarchián keresztül, vagyis az „Egészségi állapot” jellemzésére szolgáló alrendszer és a teljes kockázati szint kiszámítására használt csoport.

A kiértékelő struktúra egyszerűsítésekor, vagyis a diszkretizált kimenetű Mamdani-szerű következtetés és a szabálypremisszák összekapcsolása esetén az alkalmazott operátorokat változtatva számítottam ki az eredményeket. Ezek az operátorok implikáció esetén a minimum, szorzat, Einstein és Hamacher, aggregáció esetén pedig a maximum és a sum

operátorok voltak. A defuzzifikáció során a Zadeh-féle normák alkalmazásakor a (8)-ban definiált maximumok közepe (MOM), a többi esetben pedig a (9) segítségével számítható súlyközéppont (COG) módszert használtam. A cél annak vizsgálata, hogy mely operátorok esetén áll fenn az eredeti és a származtatott modell ekvivalenciája.

A HOSVD redukció esetén, amikor az eredmény a teljes rendszer közelítése, nem csak a szabályok, hanem az antecedens halmazok száma is csökken. Ebben az esetben megadtam az egyes bemenetekhez tartozó antecedens halmazok számát a teljes rendszerre, majd ezeket összehasonlítottam a program lefutása, vagyis a redukció után kapott értékekkel. Az antecedens halmazok száma nem csak a bemeneti tér lefedése szempontjából fontos, hanem ez adja a szabályrendszer méretét is. Ebben a rendszerben bemenetül szolgálnak még az 1. táblázatban megadott paramétereken kívül a páciens pillanatnyi szisztolés és diasztolés vérnyomás értékei, illetve a pulzusszáma és az ehhez kapcsolódó felhasználó-specifikusan hangolható tagsági függvények meghatározásához szükséges egyéb paraméterek, mint a páciens neme, életkora, nyugalmi szisztolés vérnyomása, az egyéni maximális pulzusszáma és az edzescélja. A táblázat fizikai állapotra vonatkozó (phy_sta) paraméterek az ezek alapján számolt értékkel helyettesítődik. A program implementációja és a teszt lefuttatása RAD Studio fejlesztői környezetben történt, ami integrálja a Delphit, C++ Bulidert és a HTML5 Buildert, amivel natív alkalmazások fejleszthetők több eszközre (PC, tablet, okostelefon) és több platformra (iOS, Windows, Mac) [28]. A vizsgálat célja az volt, hogy meghatározzam a csoportonkénti maximális redukció mértékét, ami a megengedett hibahatáron belüli eredményt szolgáltat. A vizsgált esetek száma az 1. táblázatban megadott csoportok szerinti bontásban a következő: Egészséges felnőtt: 864; Középkorú páciens enyhe szívbetegséggel: 288; Egészséges idős páciens: 576; Rossz kondíciójú 50-65 éves páciens: 576. A vizsgálat során a redukció mértékét változtattam és ehhez számítottam ki az aktuális hibahatárt az alább által definiált képletek alapján [21]. A redukció mértékét addig növeltem, amíg az eredmény egy előre definiált elfogadható értéket nem lépett túl.

$$E_{RSVD,l} \leq \max(\underline{E}_k) \quad (18)$$

\underline{E}_k a k -adik lépéshez tartozó hibamátrix, melynek kiszámítása:

$$\underline{E}_k = \left| \underline{S}_l - \underline{A}_l \underline{B} \underline{A}_2^T \right| = \sum_{p=n_l+1}^{n_{SVD}} \lambda_p \underline{a}_{1,k} \underline{a}_{2,k}^T \quad (19)$$

ahol p az adott lépésben elhagyott szinguláris értékek sorszáma, $\underline{a}_{1,k}$ az adott lépéshez tartozó \underline{A}_l mátrix k -adik oszlopa, $\underline{a}_{2,k}^T$ az \underline{A}_2^T k -adik sora.

3.2.3. Felhasználó-specifikus tagsági függvényhangolás

A függvényhangolást megvalósító algoritmus tesztelését a 20-69 év közötti korosztályban mindkét nem egészséges pácienseire elvégeztem, mindegyik szóba jöhető, a Polar zónák alapján létrehozott [35], 3. táblázatban megadott célzónát lefedve, összesen 576 különböző esetre. A tesztelést a HOSVD redukcióhoz hasonlóan RAD Studio fejlesztői környezetben végeztem. A bemenő paraméterek a mért értékek, vagyis a szisztolés vérnyomás (SBP), a

diasztolés vérnyomás (DBP) és az aktuális pulzusszám (HR), illetve a függvényhangoláshoz szükséges paraméterek. A teszt eredményei orvosi adatbázis alapján szakértő által validáltak.

3.2.4. A fuzzy alapú kockázatkiértékelő keretrendszer fejlesztése

A kockázatkiértékelő keretrendszer implementációja és tesztelése RAD Studio fejlesztői környezetben történt. A tesztet PC-n Windows operációs rendszer alatt futtattam, az alkalmazott hardver Intel® Core™2 Duo CPU T6570 processzor 4GB RAM és Windows7 operációs rendszer. A bemenő adatok strukturált szövegfájlban adóttak és orvosi adatbázison alapulnak. A rendszer tesztelésekor egy létező AHP-FCE modellt vettem alapul [27] mivel az előzőleg implementált saját rendszereim nem tartalmaztak súlyozást. Az összehasonlíthatóság érdekében ugyanazokra a páciensekre és bementi értékekre végeztem el a kiértékelést mindkét rendszerben. A keretrendszer alapértelmezett értékei a felhasználó-specifikus függvényhangolást lehetővé tevő modellben (3.2.3 fejezet) megadott módon számolhatók, ezért ezzel is elvégeztem az összehasonlítást. Ekkor a tényezőket azonos súllyal vettem figyelembe, mivel az említett rendszer a paraméterek súlyozását nem tartalmazza.

4. Új tudományos eredmények

1. téziscsoport

A kiértékelő struktúra egyszerűsítésére szolgáló módszereket dolgoztam ki, a Mamdani-típusú következtetési rendszer új, operátorfüggő variánsaira tettem javaslatot, a valós idejű számításigény és idő csökkentése érdekében. Ezen variánsoknak mind a helyességét, mind a műveletigényt csökkentő hatásukat igazoltam.

1.1 tézis:

Megmutattam, hogy a Mamdani-típusú következtetési rendszerrel ekvivalens diszkrétizált kimenetű Mamdani-szerű következtetési struktúra nem csak szorzat implikáció, összegzés aggregáció és súlyközéppont defuzzifikáció esetén állítható elő, hanem minimum implikáció, maximum aggregáció és maximumok közepe defuzzifikáció esetén is [S21].

1.2 tézis

Megadtam egy korrekciós tényezőt a MOM defuzzifikáció eredményének javítására, amely az aszimmetrikus konzekvens halmazok által hordozott bizonytalan információt is figyelembe véve módosítja a hagyományos MOM értéket [S21].

1.3 tézis:

Beláttam, hogy Hamacher t-norma (Einstein, Dombi és Hamacher operátorok) mint implikációs operátor, sum aggregációs művelet és COG defuzzifikáció esetén a származtatott modell nem ekvivalens a Mamdani-típusúval. Következésképpen kijelenthető, hogy a redukció pontossága függ az alkalmazott operátortól, csak bizonyos, a feladattól függően választott operátorok alkalmazása esetén biztosítható annak pontossága, egyéb esetekben a redukciós eljárás közelítő eredményt szolgáltat [S21].

1.4 tézis

Bebizonyítottam, hogy a fuzzy kiértékelési struktúra Mamdani-típusú következtetési rendszerben végzett, az azonos kimenetű szabálypremisszák diszjunkciós fuzzy operátor általi összekapcsolásán alapuló egyszerűsítése maximum operátor, majd ezt követően minimum implikáció és súlyközpont módszer, mint defuzzifikációs eljárás használata esetén pontos redukciót eredményez [S21].

1.5 tézis

Bebizonyítottam, hogy diszkrétizált kimenetű Mamdani-szerű következtetési rendszerben az azonos kimenetű szabálypremisszák diszjunkciós fuzzy operátor általi összekapcsolásán alapuló egyszerűsítés szimmetrikus konzekvens halmazok és súlyközpont (COG) defuzzifikáció esetén az összekapcsolás diszjunkciós operátor alkalmazása nélkül, a szabálypremisszák csoportosítása által elvégezhető és mindig pontos redukciót eredményez. A konzekvens halmazok súlyközpontja a kiértékelés előtt, offline számítható, az illetékességi szint nem befolyásolja azt. A módszerrel műveletigény jelentősen csökkenthető [S21].

1.6 tézis

Megmutattam, hogy a Zadeh-féle normákat használva a szabálypremisszák összekapcsolásakor, az implikáció és az aggregáció során, valamint a maximumok közepe (MOM) defuzzifikációt alkalmazva aszimmetrikus konzekvens halmazok esetén a kiértékelés eredménye megegyezik az eredeti diszkrétizált kimenetű Mamdani-szerű struktúra eredményével [S21].

2. téziscsoport

A HOSVD módszer segítségével végzett fuzzy szabálybázis-redukció optimalizálására szolgáló módszereket dolgoztam ki. Ezen módszerek alkalmasak a számításigény csökkentésére, illetve közelítő eredmény esetén a pontosság szabályozására és a hiba hierarchián belüli továbbterjedésének megadására.

2.1 tézis

Megadtam egy elő-feldolgozó eljárást, ami a bemenetek értelmezési tartományának ekvidisztáns felosztásán alapul és a valós idejű kiértékelést megelőzően végrehajtható. A HOSVD redukció során számított új tagsági függvények értékeit a bemenő adat pontosságának megfelelő felosztásban offline kiszámítva a számítási bonyolultság csökkenthető a valós idejű kiértékeléskor. Hierarchikus, csoportosított rendszer esetén

$$\sum_{k=1}^n \left(\sum_{j=1}^{m_k} \left(\sum_{i=1}^{g_j} n r_i n_i \right) \right)$$
 additív és ugyanennyi multiplikatív művelet helyett

$$\sum_{k=1}^n \left(\sum_{j=1}^{m_k} \left(\sum_{i=1}^{g_j} 1 \right) \right) = \sum_{k=1}^n \left(\sum_{j=1}^{m_k} g_j \right)$$
 multiplikatív művelet végrehajtása szükséges, ahol n a

hierarchia szintjeinek száma, m_k a csoportok száma a hierarchia k -edik szintjén, g_j a j -edik

csoporthoz tartozó bemenetek száma, nr_i az i -edik bemenethez tartozó redukált méret (az új tagsági függvények száma). [S17]

2.2 tézis

Megadtam egy általános képletet a HOSVD alapú redukációs hiba hierarchikus rendszerben értelmezett továbbterjedésére vonatkozóan. A képletben a hibakorlát a körülményeknek megfelelően változtatható és figyelembe veszi azt az esetet, ha nem minden bemeneten van továbbterjedő hiba [S22].

2.3 tézis

A mohó algoritmuson alapuló eljárást dolgoztam ki, ami a HOSVD alapú redukció esetén a teljes (minden dimenzióra értelmezett) kimeneti hibát minimalizálja, miközben a redukció mértékét maximalizálja [S22].

3. téziscsoport

A dinamikusán változó körülményeknek és a felhasználó adottságainak megfelelő adaptív kiértékelésre alkalmas algoritmust fejlesztettem, valamint kockázatkéértékelő keretrendszert terveztem és implementáltam a reálisabb eredmény elérése, a szakértői tudás könnyebb beépíthetősége és a bemenő adatok kölcsönhatásainak kezelése érdekében.

3.1 tézis

Kifejlesztettem egy anytime rendszert, ami képes alkalmazkodni a dinamikusán változó körülményekhez, kritikus helyzetekben a teljes modell helyett, annak egy lényegesen kisebb futásidejű, redukált változatát értékeli ki, így a reakcióidő jelentősen csökkenthető. A redukált modell kiértékelési idejének relatív csökkenése 40%, miközben az eredmény pontossága az előre definiált hibahatáron belül marad [S13],[S18],[S19],[S20].

3.2 tézis

Elő-feldolgozó eljárást fejlesztettem ki, ami a felhasználó adatait figyelembe véve, a rögzített bemeneti tagsági függvények helyett az illető sajátosságainak megfelelően alakítja a függvényparamétereket, ezáltal pontosabb, felhasználó-specifikus kiértékelést tesz lehetővé. Az elő-feldolgozás a valós idejű kiértékelés előtt még offline történik, így a számítási bonyolultságot nem növeli. [S16],[S19]

3.3 tézis

Megterveztem és kidolgoztam egy flexibilis, adaptív kockázatkéértékelő keretrendszert, ami a felhasználói profil alapján a személy jellemzőit, illetve a személyre szabott orvosi ajánlásokat figyelembe véve hangolja a bemenő tagsági függvényeket. A rendszer bemenő paramétereinek halmaza, azok leírásának megadásával (tagsági függvényeinek száma, antecedens halmazok elnevezése) bővíthető, valamint a konkrét felhasználó esetén figyelembe veendő paraméterek halmaza dinamikusán változtatható, a meglévő paraméterek

egymással szabadon kombinálhatók a személy adottságainak megfelelően. Mind a bővítés, mind a paraméterkombináció megadása végrehajtható a szakértő által, programozási feladatot nem igényel [S23].

5. Az eredmények hasznosítási lehetősége

A páciensmonitorozó rendszerek elterjedése jelentősen javíthatja a felhasználók életminőségét, nagyobb biztonságot és szabadabb életet biztosítva. Kutatásom során elsősorban sporttevékenység kockázatának értékelésével foglalkoztam [S2],[S3],[S4],[S5],[S6],[S7],[S8],[S15], de az eredmények felhasználhatók más hasonló területen is, például idős emberek felügyelete esetén. A két látszólag eltérő területen a rendszer kiépítése szempontjából sok a közös pont, a rendszer lényegi része mindkét esetben azonos, hiszen a feladattól függetlenül élettani jellemzőket figyelnek, aminek segítségével személyre szabottan megállapítható a kockázati szint. Betegfelügyelet esetén az alapbetegségek csoportjának részletes kidolgozására kell nagyobb hangsúlyt fektetni. A páciens életkörülményeinek, személyes adottságainak megfelelően testre szabható modell létrehozásakor a felhasználó-specifikus függvényhangolás [S16],[S19] és a kockázatértékelő keretrendszer használata jelenthet megoldást. Komplex kockázatkezelő rendszerek esetén a figyelembe vehető kockázati tényezők, valamint azok bonyolult kölcsönhatásainak kezelése leginkább egy általánosított moduláris felépítésű kockázatkezelő rendszert létrehozva valósítható meg, melynek alapjául a specifikus, paraméterezzhető alrendszerek szolgálnak [S1],[S12]. Ezeket a rendszereket a robusztusság, flexibilitás és a nagyfokú adaptációs képesség jellemzi. Egy ilyen típusú rendszer alapjául szolgál a kutatás során létrehozott kockázatkezelő keretrendszer.

Az általam kidolgozott, vagy módosított komplexitás csökkentő eljárások [S14],[S17],[S18],[S19],[S21], a kifejlesztett anytime modell [S13],[S20], illetve a megadott hibaszámítási módszerek [S22] más komplex rendszerek használatát igénylő területen is hatékonyan alkalmazhatók. Különösen igaz ez a bemutatott modellhez hasonlóan strukturált felépítésű hierarchikus csoportosított rendszerekre, melyek könnyű kezelhetőséget, bővíthetőséget és fejleszthetőséget tesznek lehetővé, valamint a dinamikusán változó körülményekhez alkalmazkodni képes anytime rendszerek esetében, amikor a kiértékelés ideje kritikus fontosságú.

6. Irodalmi hivatkozások listája

- [1] Y. Kleiner, B. Rajnai, R. Sadiq, "Failure risk management of buried infrastructure using fuzzy based techniques", *Journal of Water Supply Research and Technology: Aqua*, Vol. 55, No. 2, March 2006, pp. 91-94, DOI: 10.1.1.136.2727.
- [2] M. Takács, Multilevel Fuzzy Approach to the Risk and Disaster Management, *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 7, Issue No.4, 2010, http://www.uni-obuda.hu/journal/Takacs_25.pdf.

- [3] J. Min Kang, T. Yoo, H.Chan Kim, “A Wrist-Worn Integrated Health Monitoring Instrument with Tele-Reporting Device for Telemedicine and Telecare”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 55, No. 5, October 2006, pp. 1655-1661, DOI: 10.1109/TIM.2006.881035.
- [4] F. Rahnman, A. Kumar, G. Nagendra, G. Sen Gupta, “Network Approach for Physiological Parameters Measurement,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 54, No. 1, Feb. 2005, pp. 337-346., DOI: 10.1109/TIM.2004.834595.
- [5] L. Fanucci, S. Saponara, T. Bacchillone, M. Donati, P. Barba, I. Sánchez-Tato, C. Carmona, “Sensing Devices and Sensor Signal Processing for Remote Monitoring of Vital Signs in CHF Patients,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 65, No. 3, March 2013, pp. 553-569, DOI: 10.1109/TIM.2012.2218681
- [6] M. Kozlovsky, J. Sicz-Mesziár, J. Ferenczi, et.al., “Combined Health Monitoring and Emergency Management through Android Based Mobile Device for Elderly People,” *Wireless Mobile Communication and Healthcare, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, Vol. 83, 2012, pp. 268-364, DOI: 10.1007/978-3-642-29734-2_37.
- [7] A. Gegov, “Complexity Management in Fuzzy Systems”, *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Springer, Heidelberg, 2007.
- [8] Johanyák Zs.Cs., „Fuzzy logika”, Oktatási segédlet, 2004 [Online]. Available: http://www.johanyak.hu/files/u1/publi/J_Fuzzy_logika_segedlet.pdf [Febr 04, 2014]
- [9] J.H.M. Carr, V. Tah, “A Fuzzy Approach to Construction Project Risk Assessment and Analysis: Construction Project Risk Management System”, *Advances in Engineering Software*, Vol. 32, No. 10, pp. 847-857, October, 2001, DOI: 10.1016/S0965-9978(01)00036-9
- [10] S.A. Torabi, M. Ebadian, R. Tanha, “Fuzzy hierarchical production planning (with a case study)”, *Fuzzy Sets and Systems*, 161 (11) (2010), pp. 1511-1529, DOI: 10.1016/j.fss.2009.11.006
- [11] V.S. Kouikoglou, Y.A. Phillis, “On the monotonicity of hierarchical sum-product fuzzy systems”, *Fuzzy Sets and Systems*, 160 (24) (2009), pp. 3530-3538, DOI: 10.1016/j.fss.2009.02.001
- [12] M-L. Lee, H-Y. Chung, F-M. Yu, “Modeling of Hierarchical Fuzzy Systems”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 138, No. 2, pp. 343-361, Sept. 2003, DOI: 10.1016/S0165-0114(02)00517-1.
- [13] L. T. Kóczy, D. Tikk, Fuzzy rendszerek, *Kempelen Farkas Tankönyvtár*, 2001 [Online]. Available: <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/fuzzy-rendszerek-fuzzy/adatok.html> [Febr 04, 2014]

- [14] S. Chopra, R. Mitra, V. Kumar, „Reduction of Fuzzy Rules and Membership Functions and its Application to Fuzzy PI and PD Type Controllers”, *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol. 4, No. 4, pp. 438-447, August, 2006, DOI: 10.1.1.118.9623.
- [15] S.L. Chiu, „Fuzzy model identification based on cluster estimation”, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, Vol. 2, pp. 267-278, 1994, CCC:1064-1246/94/030267-12.
- [16] T. Faisal, M. N. Taib, F. Ibrahim, “Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Diagnosis Risk in Dengue Patients”, *Expert System with Applications*, Elsevier, 2012, pp. 4483-4495, DOI: 10.1016/j.eswa.2011.09.140
- [17] M. Cococcioni, L. Foschini, B. Lazzarini, F. Marcelloni, “Complexity Reduction of Mamdani Fuzzy Systems through Multi-valued Logic Minimization”, in proc. of the *IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*, 2008, pp. 1782-1787, Oct. 2008, DOI: 10.1109/ICSMC.2008.4811547
- [18] N. Xiong, L. Litz, “Reduction of fuzzy control rules by means of premise learning – method and case study”, *Fuzzy Sets and Systems*, 132 (2) (2002), pp. 217-231, DOI: 10.1016/S0165-0114(02)00112-4
- [19] M. C. Sieira, A. O. Ricart, R. S. Estrani, “Blood pressure response to exercise testing,” in *Apunts Med Esport.*, Elsevier, 2010, pp. 191-200, http://www.elsevier.es/ficheros/pdf/277/277v45n167a13154565pdf001_2.pdf.
- [20] A.R. Várkonyi-Kóczy, „Model Based Anytime Soft Computing Approaches in Engineering Applications”, in V. Balas, J. Fodor, A.R. Várkonyi-Kóczy (eds.), *Soft Computing Based Modeling in Intelligent Systems (Ser. Studies in Computational Intelligence)*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 63-92, DOI: 10.1007/978-3-642-00448-3_4.
- [21] O. Takács, A.R. Várkonyi-Kóczy, “Improved Error-bound for the SVD based Complexity Reduction”, in proc. of the *IEEE 6th Int. Conf. on Intelligent Engineering Systems*, INES 2002, pp. 215-218, May 2002
- [22] A.R. Várkonyi-Kóczy, O. Takács, “SVD-based Complexity Reduction of Rule-bases with Nonlinear Antecedent Fuzzy Sets”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 51, No. 2, 2002, pp. 217-221, DOI: 10.1109/19.997815.
- [23] C. Ding, Heng Huang, Dijun Luo, “Tensor Reduction Error Analysis – Applications to Video Compression and Classification”, in proc. of the *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-8, June 2008, DOI: 10.1109/CVPR.2008.4587736
- [24] L. Rónyai, G. Ivanyos, R. Szabó, “Algoritmusok”, *Typotex*, 1999, ISBN: 963 9132 16 0.

- [25] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, "Introduction to Algorithms", *Mcgraw-Hill College*, 1990, ISBN: 0070131430, Chapter 17 "Greedy Algorithms", p. 329.
- [26] J.D. Ullman, J. Widom, „Adatbázisrendszerek”, *Panem-Prentice-Hall*, 1998, ISBN: 963-545-190-3
- [27] Y. Wu, Y. Ding, H. Xu, "Comprehensive Fuzzy Evaluation Model for Body Physical Exercise" in *Risk Life System Modeling and Simulation Lecture Notes in Computer Science*, 2007, Vol. 4689/2007, pp.227–235, DOI: 10.1007/978-3-540-74771-0_26.
- [28] RAD Studio – Embarcadero Technologies Product Documentation [Online]. Available : http://docs.embarcadero.com/products/rad_studio/ [Febr 04, 2014]
- [29] R. J. Gibbons et al., „ACC/AHA Guidelines for Exercise Testing: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/ American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing)”, *Circulation – Journal of the American Heart Association*, 1997;96, pp. 345-354, DOI: 10.1161/01.CIR.96.1.345.
- [30] M. E. Nelson, „Physical Activity and Public Health in Older Adults: Recommendations From the American Collage of Sports Medicine and the American Heart Association”, *Circulation – Journal of the American Heart Association*, 2007, Vol. 116, pp. 1094-1105, DOI: 10.1161/CIRCULATION.AHA.107.185650
- [31] A. Thomas, „What is Moderate Intensity in Cardio Exercise” [Online]. Available: <http://www.livestrong.com/article/75365-moderate-intensity-cardio-exercise/> [Jan 21, 2014]
- [32] W. L. Haskell et al., „Physical Activity and Public Health: Updated Recommendation for Adults From the American Collage of Sports Medicine and the American Heart Association”, *Circulation – Journal of the American Heart Association*, 2007, Vol. 116, pp. 1081-1093, DOI: 10.1161/CIRCULATION.AHA.107.185649
- [33] AHA Guidelines on Exercise for Seniors [Online]. Available: <http://www.livestrong.com/article/529168-aha-guidelines-onexercise-for-seniors/>, [Oct 20, 2011]
- [34] I. Batyrshin, O. Kaynak, I.J. Rudas, „Fuzzy Modeling Based on Generalized Conjunction Operators”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 10, No. 5, 2002, pp. 678-683, DOI: 10.1109/TFUZZ.2002.803500
- [35] Polar RS800CX User Manual - Polar USA [Online]. Available: http://www.polar.com/e_manuals/RS800CX/Polar_RS800CX_user_manual_English/manual.pdf [Febr 04, 2014]

7. Az értekezés témájához kapcsolódó tudományos közlemények

- [S1] M. Takács, E. Tóth-Laufer, “The AHP Extended Fuzzy Based Risk Management”, in Proc. of the *10th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases (AIKED’11)*, Cambridge, UK, February 20-22, 2011, pp. 269-272., ISBN: 978-960-474-273-8.
- [S1].c1 S. Park, T-S. Kim, “Vulnerability and Information Security Investment: An Empirical Analysis of Ministries in Korea, *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS AND COMMUNICATIONS*, Vol. 8, 2014, pp. 112-119, ISSN: 2074-1294
- [S2] E. Tóth-Laufer, M. Takács, “Comparative Analysis of Fuzzy Logic-based Risk Evaluation Models”, in Proc. of the *International Engineering Symposium at Bánki, Efficiency, Safety and Security (IESB 2011)*, Budapest, Hungary, November 15-16, 2011, pp. 78-90, ISBN: 978-615-5018-15-2.
- [S2].c1 S. Szénási, “Genetic Algorithm for Parameter Optimization of Image Segmentation Algorithm”, in Proc. of the *14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics*, Budapest, Hungary, November 19-21, 2013, pp. 351-354, ISBN: 978-1-4799-0194-4, IEEE Catalog Number: CFP1324M-PRT.
- [S3] E. Tóth-Laufer, M. Takács, “Risk Level Calculation for Body Physical Exercise with Different Fuzzy Based Methods”, in Proc. of the *12th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2011)*, Budapest, Hungary, November 21-22, 2011, pp. 583-586, ISBN: 978-1-4577-0043, IEEE Catalog Number: CFP1124M-CDR, DOI: 10.1109/CINTI.2011.6108469, Scopus: 84855959086.
- [S4] E. Tóth-Laufer, I. Krómer, M. Takács, “Fuzzy Logic-based Risk Evaluation of Physiological Processes and the Inherent Uncertainties”, in Proc. of the *1st Regional Conference – Mechatronics in Practice and Education (MECH-CONF 2011)*, Subotica, Serbia, December 8-10, 2011, pp. 398-406., ISBN: 978-86-85409-67-7.
- [S5] A. R. Várkonyi-Kóczy, I. Nagy, I. Langer, E. Tóth-Laufer, “Research Activities in the Intelligent Space Laboratory of the Óbuda University”, in Proc. of the *1st Regional Conference – Mechatronics in Practice and Education (MECH-CONF 2011)*, Subotica, Serbia, December 8-10, 2011, pp. 411-421., ISBN: 978-86-85409-67-7.
- [S5].c1 S. Szénási, “Párhuzamos programozás oktatásának nehézségei”, In: *Körtesi Péter (szerk.) Matematikát, fizikát és informatikát oktatók XXXVII. országos konferenciája (MAFIOK) Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2013.08.26-2013.08.28. Miskolc: Miskolci Egyetem, 2013. pp. 217-224., (ISBN:978-963-358-035-6)*
- [S6] E. Tóth-Laufer, M. Takács, “The Effect of Aggregation and Defuzzification Method Selection on the Risk Level Calculation”, in Proc. of the *IEEE 10th Jubilee*

- International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2012)*, Herl'any, Slovakia, January 26-28, 2012, pp. 131-136, ISBN: 978-1-4577-0195-5, IEEE catalog number: CFP1208E-CDR, DOI: 10.1109/SAMI.2012.6208943, Scopus: 84862737942.
- [S7] I. J. Rudas, M. Takács, E. Tóth Laufer, "Risk and Uncertainties of Physiological Processes Handled by the Fuzzy Implementation", in *LATEST ADVANCES in SYSTEMS SCIENCE and COMPUTATIONAL INTELLIGENCE: Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Computational Intelligence, Man-Machine Systems and Cybernetics (CIMMACS '12)*, Singapore City, Singapore, May 11-13, 2012, pp. 37-42, ISBN: 978-1-61804-094-7.
- [S8] E. Tóth-Laufer, M. Takács, "Comparative Study of Fuzzy Operators in Risk Level Calculation" in Proc. of the *11th International Conference on Global Research and Education (inter-Academia)*, Budapest, Hungary, August 27-30, 2012, pp. 237-246, ISBN: 978-615-5018-37-4.
- [S8].c1 S. Szénási, "Medical Image Segmentation with Split-and-Merge Method", in Proc. of the *5th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (LINDI 2013)*, Wildau, Germany, September 5-7, 2013, pp. 137-140, ISBN: 978-1-4799-1258-2/13
- [S9] E. Tóth-Laufer, M. Takács, I. J. Rudas, "Neuro-Fuzzy Risk Calculation Model for Physiological Processes" in Proc. of the *IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY 2012)*, Subotica, Serbia, September 20-22, 2012, pp. 255-258 , ISBN: 978-1-4673-4748-8, IEEE catalog number: CFP1284C-PRT, DOI: 10.1109/SISY.2012.6339524, Scopus: 84870722290.
- [S10] E. Tóthné Laufer, M. Takács, "Neuro-fuzzy kockázatértékelő modell neurális alrendszerének vizsgálata" in Proc. of the *International Engineering Symposium at Bánki, Efficiency, Safety and Security (IESB 2012)*, Budapest, Hungary, November 21, 2012, pp. 89-97, ISBN: 978-615-5018-35-0.
- [S11] E. Tóth-Laufer, M. Takács, I.J. Rudas, "Conjunction and Disjunction Operators in Neuro-Fuzzy Risk Calculation Model Simplification" in Proc. of the *13th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2012)*, Budapest, Hungary, November 20-22, 2012, pp. 195-200, ISBN: 978-1-4673-5204-8, IEEE Catalog Number: CFP1224M-PRT, DOI: 10.1109/CINTI.2012.6496759, Scopus: 84875589332.
- [S11].c1 Szénási S., „Adatpárhuzamos sejtmagkeresési eljárás fejlesztése és paramétereinek optimalizálása”, Óbudai Egyetem, Alkalmazott Informatikai Doktori Iskola, PhD értekezés, 2013
- [S11].c2 S. Szénási, Z. Vámosy, „Evolutionary Algorithm for Optimizing Parameters of GPGPU-based Image Segmentation,” *ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA*, Vol. 10, No. 5, 2013, pp. 7-28. ISSN 1785-8860, DOI: 10.12700/APH.10.05.2013.5.2
- [S12] E. Tóth-Laufer, M. Takács, I. J. Rudas, "Interactions Handling Between the Input Factors in Risk Level Calculation" in Proc. of the *IEEE 11th International Symposium*

- on *Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2013)*, Herl'any, Slovakia, January 31-February 2, 2013, pp. 71-76, ISBN: 978-1-4673-5926-9, IEEE catalog number: CFP1308E-PRT, DOI: 10.1109/SAMI.2013.6480947, Scopus: 84875597939.
- [S12].c1 P. Pozsegovics, et al., "Human-Machine Interaction Based on Augmented Reality", in *Proc. of the 14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, Budapest, Hungary, November 19-21, 2013*, pp. 153-158, ISBN: 978-1-4799-0194-4, IEEE Catalog Number: CFP1324M-PRT.
- [S12].c2 Sergyán Sz., et. al, "A grafikus hardveren (GPGPU) implementált alkalmazások sebezhetősége", *Hadmérnök, Vol 9, No. 1*, pp. 249-257, 2014 .
- [S13] E. Tóth-Laufer, A.R. Várkonyi-Kóczy, "Anytime Sport Activity Risk Level Calculation using HOSVD based Hierarchical Fuzzy Models" in *Proc. of the IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, Gatineau, Quebec, Canada, May 4-5, 2013, pp. 300-305, ISBN: 978-1-4673-5196-6, IEEE Catalog Number: CFP13MEA-CDR, DOI: 10.1109/MeMeA.2013.6549756, Scopus: 84881326230
- [S14] M. Takács, E. Tóth-Laufer, "System Model for the Risk Level Calculation of the Leisure Activity" in *Advances in Accounting, Auditing and Risk Management, Proc. of the 2nd International Conference on Risk Management, Assessment and Mitigation (RIMA '13)*, Brasov, Romania, June 1-3, 2013, pp. 17-21, ISBN: 978-1-61804-192-0
- [S15] A.R. Várkonyi-Kóczy, I. Nagy, E. Tóth-Laufer, I. Langer, "Intelligent Space: New Challenges in Research and Education", in *Proc. of the International Workshop on Intelligent Methods in Engineering, Education and Informatics (IMEEi 2013)*, Costa Rica, June 22-23, 2013, pp. 357-364, ISBN: 978-1-4799-0828-8, DOI: 10.1109/INES.2013.6632841, Scopus: 84889653965.
- [S15].c1 F. N. D. Carneiro, "Ultrasonic Sensor Modelling and Application in Mobile Robot Platform" in *Proc. of the 19th International Scientific Conference of Young Researchers, Cluj-Napoca, România, April 20-21, 2014*, pp. 105-108.
- [S16] E. Tóth-Laufer, M. Takács, Z. Keresztényi, "Current Physical Status Evaluation Subsystem using User-specific tuned Membership Functions in Sport Activity Risk Calculation" in *Proc. of the IEEE 9th International Conference on Computational Cybernetics (ICCC 2013)*, Tihany, Hungary, July 8-10, 2013, pp. 185-190, ISBN: 978-1-4799-0060-2, IEEE Catalog Number: CFP13575-PRT, DOI: 10.1109/ICCCyb.2013.6617585, Scopus: 84886822432
- [S17] E. Tóth-Laufer, A. Rövid, M. Takács, I.J. Rudas, "A Novel Method for New Membership Function Calculation in HOSVD-based Reduction to Improve the Operation Needs", in *Proc. of the IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY 2013)*, Subotica, Serbia, September 26-28, 2013, pp. 281-285, ISBN: 978-1-4799-0303-0, IEEE Catalog Number: CFP1384C-PRT, DOI: 10.1109/SISY.2013.6662586, Scopus: 84892499790
- [S18] E. Tóth-Laufer, "Soft computing-based techniques in real-time health monitoring

- systems”, in Proc. of the *International Engineering Symposium at Bánki, Efficiency, Safety and Security (IESB 2013)*, Budapest, Hungary, November 19, 2013, ISBN: 978-615-5018-89-3
- [S19] E. Tóth-Laufer, M. Takács, I.J. Rudas, “Real-Time Fuzzy Logic-Based Sport Activity Risk Calculation Model Optimization”, in Proc. of the *14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2013)*, Budapest, Hungary, November 19-21, 2013, pp. 291-295, ISBN: 978-1-4799-0194-4, IEEE Catalog Number: CFP1324M-PRT, DOI: 10.1109/CINTI.2013.6705209, Scopus: 84893722824
- [S20] E. Tóth-Laufer, A.R. Várkonyi-Kóczy, “A Soft Computing Based Hierarchical Sport Activity Risk Level Calculation Model for Supporting Home Exercises”, *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, Vol. 63, No. 6, 2014, pp. 1400-1411, DOI: 10.1109/TIM.2014.2299523
- [S21] E. Tóth-Laufer, I.J. Rudas, M. Takács, „Operator Dependent Variations of the Mamdani-type Inference System Model to Reduce the Computational Needs in Real-Time Evaluation“, *INTERNATIONAL JOURNAL OF FUZZY SYSTEMS*, Vol. 16, No. 1, March 2014, pp. 57-72.
- [S22] E. Tóth-Laufer, A. Rövid, M. Takács, „Reduction Error Calculation of the HOSVD-based Rule Base Reduction in Hierarchical Fuzzy Systems”, *FUZZY SETS AND SYSTEMS* (benyújtott)
- [S23] E. Tóth-Laufer, M. Takács, I.J. Rudas, “Fuzzy Logic-Based Risk Assessment Framework to Evaluate Physiological Parameters”, *ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA* (benyújtott)