

Óbudai Egyetem

Doktori (PhD) értekezés
tézisfüzete



Fuzzy alapú és statisztikai hipotézis vizsgálaton alapuló preferenciamodellek hatásvizsgálata és fejlesztése

Sram Norbert

Témavezető:

Takács Márta, PhD

**Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai
Doktori Iskola**

Budapest, 2017. március

1. A kutatás előzményei

A hagyományos szakértői, következtetési rendszerek éles határértékű feltételrendszerekre épülnek általában. A *ha feltétel akkor következmény* típusú szabályok *feltétel* részében gyakran szerepelnek *változóérték egyenlő mért érték* vagy *alsó határ* \leq *változóérték* \leq *felső határ* típusú feltételek, ahol a mért értékek vagy az alsó és felső határ kizárólag numerikus, kvantitatív jellegűek, fuzzy alapú megfogalmazásban *éles* értékek. Ugyanakkor az ezen értékektől való bármely kis eltérésre a szabályok nem tüzelnek, a rendszer „érzéketlen” marad. Ritkán fordul elő a hagyományos megközelítéseknél az is, hogy kvalitatív megfogalmazások kerülnek a szabályokba. Nincs ez másképpen az orvosi, diagnosztikai következtetési rendszerekben sem.

A szív- és érrendszeri betegségek a halált kiváltó leggyakoribb okok közé tartoznak. A *World Health Organization* jelentései alapján [1] a halálesetek, mint egy 30%-t ischaemiás szívbetegség vagy stroke okozza. A hirtelen szívhalál előrejelzése még mindig egy megoldatlan probléma [2][3]. Ma már jól ismert és elfogadott tény, hogy a klinikai körülmények között történő klasszifikálások félrevezetőek és gyakran kivitelezhetetlenek, ugyanis a hirtelen szívhalál esetek 40%-nak nincsen szemtanúja [4]. Vannak példák olyan rendszerekre, amelyek támogatják a szakértőket a diagnosztika kialakításában. Ezt különböző modellek alapján teszik, szakértői rendszereket alkalmazva és azokat kiterjesztve újszerű matematikai modellekkel [5].

Az automatizált diagnosztikai megoldások előnyei ma már elismert ténynek számítanak és egyre nagyobb teret hódítanak [6][7][8][9][10]. A Minnesota kód (MC) [11] egy EKG (elektrokardiogramm) klasszifikációs rendszer, amely egy előre meghatározott diagnosztikai szabályrendszert alkalmazva numerikus kódokat rendel az EKG jelhez az EKG-ben talált rendellenesség súlyossága alapján. A MC világon a legelterjedtebb EKG klasszifikációs rendszer a klinikai próbák és járványtani kutatások területén. Olyan EKG klasszifikációs rendszert alkalmaz, amelyet széles körben elfogadnak és alkalmaznak a klinikai orvosok is.

2. Célkitűzések

A kutatási téma megfogalmazásakor elsősorban ezen típusú rendszerek olyan fejlesztését tűztem ki célomul, amely kezeli a bizonytalanságot, az éles határok helyett fuzzy fogalmakkal működik. Az esettanulmány a Minnesota kód diagnosztikai rendszerhez kapcsolódott, de a megalkotott rendszermodellek és szoftverek alkalmazhatóak általában is egy hierarchikusan felépített, bizonytalanságot kezelő döntéshozatali rendszerre, amely gyakorlatilag egy preferenciamodell.

A Minnesota kód hagyományos orvosi diagnosztikai szakértői rendszer, amelyben egymásra épülő szabályok a bementi értékektől függően tüzelnek vagy nem, irányítják a döntéshozatali fában a döntéshozót a következő feltételig, és ezáltal vezetik egy adott betegség diagnosztikai feltételei mentén a betegség megállapításához, azaz a szabályrendszer és a mért adatok alapján preferenciát biztosítanak a döntéselemzőnek (itt a kardiológus szakorvosnak). A szabályrendszer ugyan a tapasztalati tudásbázist tartalmazza, de nem módosul pacienstől függően, és nem is kezeli a bizonytalanságot (mérési adatok hiányát, pontatlanságot), az éles intervallumhatárokat tartalmazó szabályok rigid viselkedését. A rendszer tehát jó alaphozat bizonnyult az ilyen típusú döntéshozatali rendszerek módosításának, felhasználóbarát és felhasználó-érzékenységre irányuló modell-fejlesztésének verifikációjára és validálására.

3. Vizsgálati módszerek

Az elképzelés első megközelítésben az volt, hogy a szabályok feltételeiben szereplő éles határokat lágyítsam, azaz, hogy fazifikáljam a bemeneti paramétereket, és ennek alapján a következtetéseket, szabálytüzeléseket is fuzzy következtetési rendszerrel oldjam meg [12]. A rendszerszerkezeti megközelítés megfelel az eredeti Minnesota kódnak. A módszer **szabályalapú** megközelítésnek neveztem, mert a Minnesota kód szabályainak *Mamadani* illetve *Sugeno* típusú következtetési rendszerbe való foglalását jelentette [S1].

Általánosítva: *if feltétel then következmény* típusú, hierarchikusan egymásba épülő szabályokból álló preferenciamodellek bemeneti adatait fazifikálva, és a döntéshozatalnál fuzzy következtetési rendszert használva, a bizonytalanságot kezelő preferenciamodellt építettem a kardiológiai diagnosztikai Minnesota kód továbbfejlesztéseként.

A vizsgált diagnosztikai rendszer 12 csoportból, megközelítőleg 50 bemeneti csatornából vesz adatokat, azaz ennyi bemeneti paraméterből választva képez szabályokat. A szabálykimenetek gyakorlatilag a hierarchikus döntéshozatali rendszerben a továbblépést kanalizálják, azaz, ha a szabályfeltételek teljesülnek, akkor a szabálykimenet szerinti ágon folytatódik a további szabályok kiértékelése.

Megalkottam a Minnesota kód kardiológiai diagnosztikai szakértői rendszer fuzzy alapú, bizonytalanságot kezelő módosítását, követve az eredeti Minnesota kód rendszerszerkezeti felépítését, fazifikálva a bemeneti paramétereket, fuzzy operátorokat alkalmazva a szabályblokkok tüzelési szintjének meghatározására.

Ezen belül először **szabályalapú, csoportalapú** megközelítést alkalmaztam, ami azt jelentette, hogy egy fuzzy következtetési blokk egy szabállyal egyenértékű [S4]. A szabálykimenet mindenképpen tükrözte az egyes bementi paraméterekre vonatkozó tüzelési szinteket, illetve azok aggregált értékét és a továbblépést azonnali defazifikálással oldottam meg. Ha a bemeneti paraméterekre vonatkozó aggregált tüzelési szint elér egy adott értéket, akkor léphetünk túl a döntési hierarchia következő szintjére. A megközelítés azért fontos, mert a preferenciamodell úgy működik, hogy ha bizonyos szabályok tüzelnek, akkor ez a szabálycsoport határozza meg az adott betegséget. A paraméterek fazifikálásakor figyelembe vettem, hogy korábbi Minnesota kód fazifikálást leíró forrásokban is, az úgynevezett kizáró szabályokra alapozva, de a tűrési határ (5-10%) figyelembe vételével dől el a kimenet [S5].

Az, hogy a bemenetek számától függően akár 5-10 bementi paramétert is kezel egy ilyen blokk, és minden egyes szabálynál újra kell fazifikálni a szabályok bemeneti paramétereit, jelentős redundanciát okozott, hiszen egy-egy bementi paraméter több szabályblokk tüzelésénél is szerepet játszott. Az említett redundanciát elkerülendő a vizsgált Minnesota kód alapú rendszert a továbbiakban **bemenetalapú** megközelítésben módosítottam, azaz a szabályfeltételek fazifikálását egységesen végeztem el, mégpedig úgy, hogy azokat a szabályokat foglaltam egy fuzzy csoportba (fuzzy blokkba), amely ugyanazon bemenetet használják a következtetéshez. További módosításként a kizáró szabályok szerepét is figyelembe vettem, mert ez a teljes rendszer komplexitását valamelyest csökkentette.

A kutatás e szakaszában, tehát a **bemenetalapú fazifikált Minnesota** modellben figyelembe vettem, hogy a 12 bemeneti paraméter mindegyike akár több szabály bemeneti paramétere is lehet, legfeljebb a feltételben más intervallumhatárba kell beilleszkedniük. Egy szabálynál gyakran 3-4 bemeneti paraméter illeszkedését kell vizsgálni a szabálypremisszákhöz, és egy bement akár 6-8 szabály bemeneteihez is illeszthető. A **bemenetalapú fazifikált Minnesota**

modellben az egy csoportba tartozó szabályoknál ugyanazok a bemeneti paraméterek szerepeltek, ezek illeszkedési szintjét egy blokkon belül aggregáltam. Több operátor vizsgálata után a blokk (szabálycsoport) kimeneti tüzelési szintjét a paraméterek és megfelelő feltételben szereplő értékek illeszkedési szintjének minimumaként határoztam meg. A Mamdani típusú következtetésben alkalmazott fuzzy halmaz helyett tehát egy megfelelési, tüzelési szintet definiáltam szabálykimenetként a fuzzy blokkból, és a következő döntési szintre ennek defazifikált, crisp értékét vittem tovább. A defazifikáció szerint igaz (1) vagy hamis (0) kimenetet adtam meg, első alkalommal alapozva a **konzisztencia (megfeleltetési)** szintre, amely egyfajta tűréshatárt jelent a szabályblokk figyelembe vételét illetően a döntéshozatali eljárásban, azaz ha a számított kimenet az előre megadott konzisztencia-szinttől kisebb, akkor a kimenet 0 (a szabályblokk nem tüzel), ha ennél nagyobb, akkor a kimenet 1, azaz a szabályblokk tüzel. A rendszer összetettségéből adódóan mielőbb törekedtem a defazifikációra, hogy a szabályblokkokat a Minnesota kód eredeti struktúrája szerint fűzhessem a továbbiakban döntési láncba.

Az esettanulmány, amely létező adatbázison tesztelte a modellt, már megmutatta, hogy a módosított, fazifikált szabály- és bemenetalapú rendszer árnyaltabban reagál a bemenetek és a szabálypremisszák találkozására.

A modellépítéshez felhasznált szoftver eredetileg a Matlab Fuzzy Toolbox (MFT) volt, amely ugyan széles körben alkalmazható, és bővíthető bizonyos modulok irányában, de vannak olyan elemei, amelyek az operátorválasztást, a következtetési rendszer modifikálását nem engedik. A Minnesota kód szabályalapú fazifikálásával párhuzamosan más kockázatkezelő, általam fejlesztett fuzzy alapú alkalmazások is arra mutatattak rá, hogy az MFT csomag bővítése korlátozott. Ennek alapján döntöttem úgy, hogy egy saját fejlesztésű csomagot készítek fuzzy alapú következtetési rendszerek kidolgozására, amely szabadon elérhető és letölthető [S2][S3].

Az eredmények verifikálásához a fuzzy blokkokat hierarchikus szimulációs rendszerbe építettem a Matlab Simulink csomag segítségével, azonban a rendszer a döntéshozatali fasztruktúra bonyolultsága miatt merev, nehezen módosítható és kezelhető volt. Az általam fejlesztett programcsomaggal ezért saját megoldást adtam a kimenetek számítására [S6].

A MC fuzzy alapú felépítése kiküszöböli a Minnesota kód egyik legfőbb gyenge pontját, a hibatűrés tekintetében a merevséget. A fuzzy alapú rendszer tovább fejleszthető egy teljes kockázat kezelési algoritmus bevezetésével, amely a döntési fában történő haladás folyamán

kumulálja és kiértékeli a hibahatárok jelentőségét, de ez további paraméterek bevezetését és folyamatos monitorozását jelentené, és ez tovább növelné a rendszer komplexitását [13][14][15][16].

Fuzzy ontológia alapú preferenciamodell

A kutatásaim kezdetén bevezetett, általam fejlesztett szoftvercsomag ugyan jól kezelte a módosításokat, speciális operátorcsaládokat és fuzzy halmazokat, de a rendszer komplexitása továbbra is igen nagy volt, hiszen ragaszkodtam a hagyományos Minnesota kód szerkezeti felépítéséhez. Ezért más megközelítéssel (ontológiával) próbáltam azt redukálni, áttekinthetőbbé tenni [17]. Megoldást kellett találni arra a problémára is, hogy ez a rendszer nem működik megfelelően, ha a bemeneti paraméterértékek közül valamelyik hiányzik, nem mérjük azt, vagy hiba folytán nem érkezik be a döntéshozatali rendszerhez. Esetleges további paraméterrel figyelhetünk volna a bementi adatok meglétét, de ez még inkább megnövelte volna a rendszer statikus struktúráját és lassította volna annak dinamikus működését. A kizáró szabályok alkalmazásánál a rendszer merevsége problémát okozott, ezért szükség volt a rendszerelméleti váltásra.

Az bemutatott szabályalapú fuzzy megközelítés tükrözte a szakértői rendszer alapú Minnesota kód (MCI) rendszerszerkezetét, és így éppoly komplex volt, mint az eredeti. Az MCI rendszer struktúraváltás nélküli átültetése egy komplex hierarchikus fuzzy döntéshozatali rendszerbe még nem hozta meg a kellő eredményeket a teljes rendszer működésének tekintetében. A korábbi szabályorientált módszer továbbfejlesztésével egy **ontológia-alapú döntéshozatali rendszert hoztam létre**, amelyben type-1 és type-2 típusú fuzzy halmazokkal is modellezhetőek a rendszerparaméterek [S7][S8][S9][S10]. Az ontológia építését részben a Protégé [18] csomag bővítésével, részben önállóan szerkesztett szoftvercsomag segítségével végeztem.

Az alkalmazott következtetési rendszer és a konzisztencia-szint

A hagyományos MCI diagnosztikai rendszerben és az általam bevezetett fuzzy alapú következtetési rendszerekben (a szabályalapúban és az ontológia-alapúban is) a Modus Ponens az alapvető logikai következtetési szabály, ahol

((Ha A akkor B) és A) tehát B

és a **Ha A akkor B** egy diagnosztikai szabály, amelynek A szabálypremisszáját a mért bemeneti paraméteradattal összevetve állapítjuk meg, hogy a mért érték az adott határok

között mozog-e (teljesül-e a szabály feltétel-része), azaz a szabály tüzelőképes-e vagy nem. A crisp MCI megközelítésben éles intervallumhatárokat figyelembe véve döntjük el, hogy a **B** szabálykimenet megvalósul-e, avagy nem. Ha a hagyományos MCI diagnosztikai rendszerben egy szabály tüzelését 1, a szabály érzéketlenségét 0 jelöli (mint a szabályhoz rendelt igazságérték adott logikai szabály és adott bemenet esetében), akkor a fuzzy alapú módosított Modus Ponens esetében ez az igazságérték, avagy a szabály tüzelési szintje a $[0,1]$ intervallumbeli szám lehet. Ugyanakkor ebben a hierarchikus döntéshozatali fában a szabály tüzelése egyben a döntéshozatali fában történő továbblépést (vagy a végső döntéshozatal) jelenti, és a $[0,1]$ intervallumbeli fuzzy igazságérték alapján a rendszernek el kell döntenie, továbblép-e, tüzeltnek tekinti-e a szabályt, vagy figyelmen kívül hagyja azt. Több ide vonatkozó adatbázis adatait és statisztikai mutatói figyelembe véve olyan döntéshozatali módszert dolgoztam ki, amely a megfelelési szint, azaz **konzisztenciaszint** alapján dönt arról, hogy a hagyományos MCI rendszer döntését felülbírálván type-1 illetve tovább finomítva type-2 típusú fazifikált paraméterekkel biztosabb diagnosztikát adjon [S11].

A diagnosztikai eredmények feldolgozásának elősegítése érdekében a szabálykimenetek alapján a szabály eredményeket négy csoportba soroltam: „határeset”, „inkonzisztens”, „domináns” és „normális”. A kategorizálást egy, szoftverrendszer által támogatott algoritmus végzi.

A diagnosztikai eredmény-halmazokban a szabályra vonatkozó következtetést akkor klasszifikáljuk „határesetnek”, ha a szakértői rendszer alapú MCI megközelítés és az első tételben említett szabályalapú fuzzy megközelítés között az eltérés meghalad egy adott küszöböt. A zaj toleranciák alapján meghatározott küszöbérték, azaz, ez a **konzisztenciaszint** általában 10%. Például amennyiben az MCI módszer eredménye egy adott diagnosztikai szabályra „igaz” és a szabályalapú fuzzy megközelítés által kapott igazságérték 0,89, akkor ez a szabály már „határeset”.

“Inkonzisztensként” azokat az eredmény-halmazokat kategorizáljuk ahol az MCI és a fuzzy szabályalapú rendszer eredményei érdemben különböznek, azaz ahol az eltérés meghaladja az 50%-ot (konzisztenciaszint), és a kétféle kiértékelés egészen biztosan különböző kimenetet eredményez. Példa erre, ha az MCI módszer “hamis” diagnosztikát eredményezett, míg a fuzzy alapú módszer szerinti igazságérték 0,9903 (a vizsgált adatbázisban előforduló eset). Az ilyen helyzetekben további fuzzy alapú kiterjesztéseket alkalmazhatunk, például a type-2 [19][21] típusú parametrizálást, amely a fazifikált paraméterek további bizonytalansági

mutatóját kezeli, és lehetővé teszi a döntéshozatal finomabb hangolását. Amennyiben egy diagnosztikai eredmény halmaz esetében a két fuzzy alapú (type-1 és type-2) módszerrel kapott eredmények között az eltérés jelentős - azaz meghaladja az 50%-ot, és újra befolyásolja a döntéshozatali fában való továbblépést, a diagnosztikai eredmény-halmazt „dominánsnak” nevezzük.

Amennyiben az MCI és a fazifikált szabályrendszer következtetései között nincs érdemi eltérés (azaz nem a fenti három eset egyikét azonosítjuk), akkor a besorolás „normális”.

Az Incart adatbázison [22] a Q és QS mintákat kiértékelő diagnosztikai szabályok végrehajtásával 5265 mintát kapunk. Az 5265 mintából 88 kategorizálható, mint „határeset”, 621, mint „domináns” és 19, mint „inkonzisztens”. A TWA adatbázison [22] a Q és QS mintákat kiértékelő diagnosztikai szabályok végrehajtása 4980 mintát eredményez. A diagnosztikai eredményeknél 162 minta tartozik a „határeset” kategóriába, 661 minta megjelölhető, mint „domináns” és 73 minta „inkonzisztens”. PTB adatbázison [22] történő végrehajtása a Q és QS diagnosztikai szabályoknak 37960 mintát eredményez. A „határeset” minták száma mindössze 88, a „domináns” minták száma 621 és 240 minta kategorizálható „inkonzisztensnek”.

A diagnosztikai eredmények feldolgozásánál elsődleges szempont volt számomra az „inkonzisztens” eredmények megvizsgálása. Ezek azok a diagnosztikai eredmények, amelyek külön figyelmet igényelnek, ugyanis a Minnesota kód hierarchikus felépítéséből eredendően egész diagnosztikai ágakat zárhatnak ki a pontatlan diagnosztikai következtetések.

A type-1 és a type-2 típusú fuzzy paraméterek jelentőségéről a döntéshozatalban

Amennyiben type-1 alapú ábrázolást alkalmazunk a hullámformák reprezentálására, egy adott bemenetre az adott szabálynál egy fuzzy igazságérték a kimenet. A kimenet önmagában nem hordoz bizonytalanságot, de tételezzük fel, hogy növelni szeretnénk a mérési hiba toleranciát 5%-ról 10%-ra (azaz bővítenénk a tagsági függvények tartóját). A type-1 fuzzy reprezentálás esetében ez az igazságértéket meghatározó intervallum kiszélesítését is jelenti, és diagnosztikai szempontból a rendszer szigorúsága jelentősen eltér az eredeti szabálydefinícióktól. Gyakorlati szempontból az MCI és a type-1 fuzzy reprezentálás által nyújtott diagnosztikai eltérések abban nyilvánulnak meg, hogy a fuzzy megközelítés a diagnosztizálás pontosítása helyett egy újabb kockázati tényezőt (a hibatoleranciát) kezel. Diagnosztikai szempontból elvárható azonban, hogy ezen belül a nagyobb mérési

hibatolerancia bevezetésével (azaz a fazifikált paraméterek tagsági függvényének tartója kiszélesítése után) a bizonytalansági faktor függvényében adjunk szabálykimenetet. Ahhoz, hogy a döntésünkhöz párosuló bizonytalansági tényezőt is beépítsük a rendszerbe, a type-1 alapú fuzzy megközelítés elégtelen, azonban a paraméterek type-2 alapú reprezentálása lehetővé teszi a számunkra, hogy a szabálykimenet mellé párosíthatunk egy, a hibahatárok módosításának hatását tükröző bizonytalansági tényezőt is [20].

A rendszerfelépítésből adódóan egy szabályhoz vagy szabálycsoporthoz több bemenet tartozik, és mindegyik esetében tüzelési szintet kell számítani, amit most már a type-2 típusú paraméter-reprezentáció miatt egy újabb (bizonytalanságot leíró) tényező is kísér. Felmerül tehát a kérdés, hogy a szabály kimenetének számításakor hogyan hasson arra a type-2 típusú bemenetek bizonytalansági paramétere. A szabályból vagy szabálycsoportból való továbblépést kell meghatároznunk, hiszen a defazifikált kimenet mindössze annak a megadása, hogy a döntéshozatali fában a szabályt követő ágakra továbblépünk-e avagy sem. Ezért a type-2 típusú bizonytalansági szint figyelembe vételével a kimenet meghatározásához végül is típusredukciót kell végrehajtanunk (kettesből egyes típusba) és meg kell oldanunk a defazifikálást is (azaz tüzelőnek vagy nem tüzelőnek kell nyilvánítanunk a szabályt).

Két módszert vezettem be ennek megadására: **a leképzett típus aggregálás** módszerét és az **aggregált intervallumok leképzésének** módszerét [S12]. Mindkettő összhangba hozható az Minnesota kódnál való alkalmazással, de általánosan is alkalmazható hierarchikusan felépített, fuzzy következtetésen alapuló és type-2 szabálypremisszával és szabálykövetkezménnyel rendelkező szabályrendszer esetében is.

A leképzett típus aggregálás módszernél a szabályhoz tartozó bemenetek bizonytalansági intervallumaihoz a következtetési szabály kiértékelésekor egyenként egyetlen bizonytalansági számot rendelünk (redukálunk, leképezünk egy bizonytalansági intervallumot egyetlen bizonytalansági számra), majd ezeket aggregáljuk, hogy egyetlen kimeneti bizonytalansági mutatót kapjunk a teljes szabály szintjén.

Az aggregált intervallumok leképzésének módszernél a szabályhoz tartozó bemenetek esetében a bizonytalansági intervallumokat először összevonjuk, aggregáljuk, majd ezen összevont, a teljes szabályt jellemző bizonytalansági intervallumot redukáljuk, és rendelünk a szabályhoz egyetlen kimeneti tüzelési szintet. Mindkét módszert az ismert adathalmazokon több alkalmazható operátorral is teszteltem és a megfelelő következtetéseket levontam.

4. Új tudományos eredmények

1. tézis

Megalkottam a Minnesota kód kardiológiai diagnosztikai szakértői rendszer fuzzy alapú, bizonytalanságot kezelő módosítását, szabályalapú, ezen belül csoport- illetve bemenetalapú megközelítésben, követve az eredeti Minnesota kód rendszerszerkezeti felépítését, fazifikálva a bemeneti paramétereket, fuzzy operátorokat alkalmazva a szabályblokkok tüzelési szintjének meghatározására, és bevezettem a konzisztencia-szint alapú defazifikálást, amely a döntéshozatali fában való továbblépést meghatározza. A módosított fuzzy alapú Minnesota rendszer működését a PhysioNet [22] adatbázis adathalmazát felhasználva verifikáltam, azaz megmutattam, hogy a módosított fuzzy alapú Minnesota kód érzékenyebben reagál a bemeneti paraméterek kis változásaira is a hagyományos szakértői rendszerénél [S1][S2][S3][S4][S5][S6].

Saját szoftvercsomagot hoztam létre, amely különböző fuzzy halmazokon, különböző operátorok segítségével fuzzy műveletek elvégzését biztosítja, és lehetővé teszi a fuzzy alapú következtetési rendszerek működésének szimulációját, modulárisan bővíthető, és bementként elfogadja és feldolgozza a Matlab környezetben épített fuzzy (fis) modelleket is.

Elérhető: [<https://github.com/snorbi07/FuzzyLogicTools>]

2. téziscsoport

Egy ontológia-alapú döntéshozatali rendszert hoztam létre, mely a szakértői rendszer rendszerparamétereit és szabályait felhasználva, interval type-2 fuzzy következtetésen alapuló és interval type-2 szabálypremisszával és szabálykövetkezménnyel rendelkező szabályrendszer esetében alkalmazható számítási módszerek segítségével előállított kimeneteket felhasználva, konzisztenciaszint alapú döntéshozatali módszert alkalmazva ellenőrzi és esetlegesen felülbírálja a szakértői rendszer kimenetét.

2.1 tézis

A Minnesota diagnosztikai rendszer rendszerparamétereit és szabályait felhasználva és a fuzzy alapú szabályorientált módszert alapul véve egy ontológia-alapú döntéshozatali rendszert hoztam létre, amelyben type-1 és type-2 típusú fuzzy halmazokkal is modellezhetőek a rendszerparaméterek. A rendszer előnye továbbá, hogy jól

parametrizálhatóak a rendszerelemek, és a korábbi megközelítésekkel ellentétben, kezeli azokat a helyzeteket is, amikor nem áll a rendelkezésünkre a merev rendszerszerkezetet alaplól működtető teljes bemeneti paraméterhalmaz, hanem esetlegesen csak annak egyes részhalmazai [S11].

Az ontológia építését részben a Protégé csomag segítségével, részben önállóan szerkesztett, fuzzy alapú elemekkel bővített szoftvercsomag segítségével végeztem. A rendszer általánosítható, hiszen az ontológia megadásakor a modellhez kapcsolódó rendszerszerkezet fazifikált paramétereit (választhatóan egyes vagy kettes típusúakat), és a rendszerszabályokat a problémakörhöz kapcsolódóan, tapasztalati vagy más módon felvázolt rendszerelemekből felépíthetjük.

Elérhető: [<https://github.com/snorbi07/MinnesotaCode>].

2.2 tézis

Az inkonzisztens szabálycsoportok esetében kiemelten fontos type-2 típusú fuzzy paramétereket magában foglaló, hierarchikusan felépített következtetési rendszerben a szabálycsoportokhoz tartozó kimenet számításához két módszert vezettem be: a leképzett típus aggregálás módszerét és az aggregált intervallumok leképzésének módszerét. Mindkettő összhangba hozható a Minnesota kódnál való alkalmazással, de általánosan is alkalmazható hierarchikusan felépített, fuzzy következtetésen alapuló és type-2 szabálypremisszával és szabálykövetkezménnyel rendelkező szabályrendszer esetében is [S12].

2.3 tézis

A vizsgált fuzzy paraméterekkel és következtetési rendszerrel felépített hierarchikus döntéshozatali fában, ahol a szabály tüzelése egyben a döntéshozatali fában történő továbblépést (vagy a végső döntéshozatalt) jelenti, több ide vonatkozó adatbázis adatait és statisztikai mutatói figyelembe véve olyan döntéshozatali módszert dolgoztam ki, amely a megfelelési szint, azaz konzisztenciaszint alapján dönt arról, hogy a hagyományos Minnesota rendszer döntését felülbírálván type-1, illetve tovább finomítva type-2 típusú fazifikált paraméterekkel biztosabb diagnosztikát adjon. A diagnosztikai eredmények feldolgozásának elősegítése érdekében a szabálykimenetek összehasonlítása alapján az eredményeket és ezáltal a szabályokat is négy csoportba soroltam, ezek: „határeset”, „inkonzisztens”, „domináns” és „normális”. A kategorizálás egy általam kidolgozott algoritmus alapján

történik. A módszer hatékonyságát a PhysioNet adatbázis adathalmazát felhasználva ellenőriztem [S12].

5. Az eredmények hasznosítási lehetősége

Az általam megalkotott módszerek általánosan használhatók szakértői rendszer fazifikálására, valamint alkalmazható hierarchikusan felépített, fuzzy következtetésen alapuló és type-2 szabálypremisszával és szabálykövetkezménnyel rendelkező szabályrendszer esetében is.

Az általam definiált konzisztencia szint alkalmazásával meglévő döntéshozatali rendszerek kibővítése is lehetséges oly módon, hogy ezek a rendszerek a megfelelési szint, azaz konzisztenciaszint alapján döntsenek arról, hogy a hagyományos kiértékelést felülbírálván type-1, illetve tovább finomítva type-2 típusú fazifikált paraméterekkel biztosabb, megbízhatóbb kimenetet adjanak.

6. Irodalmi hivatkozások listája

- [1] World Health Organization, "Annex Table 2: Deaths by cause, sex and mortality stratum in WHO regions, estimates for 2002", The world health report, 2004.
- [2] Engelstein ED, Zipes DP, "Sudden cardiac death.", The Heart, Arteries and Veins. New York, NY: McGraw-Hill; 1998:1081–1112.4
- [3] Myerburg RJ, Castellanos A, "Cardiac arrest and sudden death.", Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine. Philadelphia, Pa: WB Saunders; 1997:742–779
- [4] de Vreede Swagemakers JJM, Gorgels APM, Dubois-Arbouw WI, van Ree JW, Daemen MJAP, Houben LGE, Wellens HJJ. "Out-of-hospital cardiac arrest in the 1990's: a population-based study in the Maastricht area on incidence, characteristics and survival.", J Am Coll Cardiol. 1997; 30:1500 –1505
- [5] Doina Drăgulescu, Adriana Albu, "Medical Predictions System", Acta Polytechnica Hungarica Vol. 4, No. 3, 2007, pp89
- [6] 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
- [7] B. Meade, "Emergency care in a remote area using interactive video technology: A study in prehospital telemedicine", *J. Telemed. Telecare*, Vol. 8, No. 2, Apr. 2002, pp.115-117

- [8] F. Rahnman, A. Kumar, G. Nagendra, G. Sen Gupta, "Network Approach for Physiological Parameters Measurement," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 54, No. 1, Feb. 2005, pp. 337-346., doi: 10.1109/TIM.2004.834595
- [9] 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 Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 65, No. 3, March 2013, pp. 553-569, doi: 10.1109/TIM.2012.2218681
- [10] 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
- [11] Prineas, Ronald J., Crow, Richard S., Zhang, Zhu-ming, "The Minnesota Code Manual of Electrocardiographic Findings", ISBN: 978-1-84882-777-6
- [12] Balázs, K. Haraszi, Gy. Kozmann, "Increasing the Efficiency of the "Excluding Rules" of the Minnesota Coding System using the Fuzzy Logic", *Measurement Science Review*, Vol. 5 Section 2, 2005.
- [13] 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
- [14] 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.
- [15] M. Takács, Multilevel Fuzzy Approach to the Risk and Disaster Management, *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 7, Issue No.4, (2010)
- [16] M. Takács, E. Tóth-Laufer, "The AHP Extended Fuzzy Based Risk Management" in *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, pp:269-272
- [17] N. Guarino and P. Giaretta, „Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification”, *Towards Very Large KnowledgeBases: Knowledge Building and Knowledge Sharing*, pages 25–32, IOS Press, Amsterdam, 1995

- [18] Musen, M.A., "The Protégé project: A look back and a look forward", AI Matters. Association of Computing Machinery Specific Interest Group in Artificial Intelligence, 1(4), June 2015. DOI: 10.1145/2557001.25757003.
- [19] Mendel, J.M., „Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions”, Computational Intelligence Magazine, IEEE, Vol. 2, Issue 1, 2007
- [20] Dongrui Wu, Jerry M. Mendel, „Uncertainty measures for interval type-2 fuzzy sets”, Elsevier Information Sciences, Volume 177, Issue 23, December 2007
- [21] Qilian Liang, Jerry M. Mendel, „Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems: Theory and Design”, IEEE Transactions on Fuzzy System, Vol. 8, No. 5, October 2000
- [22] Moody GB, „The PhysioNet / Computers in Cardiology Challenge 2008: T-Wave Alternans”, Computers in Cardiology 35:505-508; 2008

7. Az értekezés témájához kapcsolódó tudományos közlemények

- [S1] Sram N., Takacs, M. "Minnesota code: A fuzzy logic-based approach", Proc. of the 11th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI), pp. 233-236. 2010, Budapest, Hungary, 2010
- [S2] Sram N., "A Decision Making and Problem Analysis Supporting System" Obuda University e-Bulletin, Vol. 1, No. 1, 2010.
- [S3] Sram N., "A hybrid approach to decision making and problem analysis", Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD), 2010, pp. 431 – 433
- [S4] Sram N., Takacs M., "Fuzzy rule base construction for Minnesota Code", IEEE 9th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi), 2011, pp. 213 – 217
- [S5] Sram N., Takacs M., "Multilevel Risk Management Based Fuzzy Model for the Minnesota Code", SISY, 2011, pp. 471 – 476
- [S6] Sram N., "Practical application of fuzzy logic: Experiences and current state in software engineering", Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2011, pp. 579 – 581
- [S7] Sram N., Takacs M., " Fuzzy ontology-based model for the Minnesota Code", Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi), 2012, pp. 109-111
- [S8] Sram N., "Minnesota Code: Evaluation of fuzzy ontology based approach", IEEE 16th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), 2012, pp. 477 – 481

- [S9] Sram N., "An Ontology model-based ECG diagnostic solution", Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2012, pp. 191 – 194
- [S10] Sram N., Takacs M., "Analysis of fuzzy logic assisted evaluation of the Minnesota Code", Computational Cybernetics (ICCC), 2013, pp. 121-124
- [S11] Sram N., Takacs M., "An Ontology Model-based Minnesota Code", Acta Polytechnica Hungarica 12(4), 2015, pp. 97-112
- [S12] Sram N., Takacs M., "A Type-2 Fuzzy-based Approach to the Minnesota Code", Acta Polytechnica Hungarica, elfogadva, publikálás előtt.