ETO: 510.6 ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER

Takács Márta

Újvidéki Egyetem, Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, Szabadka
takacs.marta@nik.uni–obuda.hu

A LÁGY SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK ELSŐ ÖT ÉVTIZEDE

The First Five Decades of Soft Computing

A lágy számítási módszerek (Soft Computing) olyan matematikai eszköztárat biztosítanak számunkra, amelyek a hagyományos számítási módszerekkel szemben jól kezelik a modellezendő rendszerekben megjelenő bizonytalanságot, pontatlanságot, információhiányt és a közelítő következtetést. Mindent összevetve azt mondhatjuk, hogy a lágy számítási módszerek az emberi gondolkodás modelljét követve adnak eredményt, gyakran nagyon emberközeli megjelenítésben.

A lágy számítási módszerek gyakorlati alkalmazásához jelentősen hozzájárult Lotfi A. Zadeh 1965-ben a fuzzy halmazokról megjelentetett cikke, majd az ezt követő publikációk, amelyek a komplex rendszerekben történő döntéshozatalról, illetve a posszibilisztikus modellekről szóltak. Ezt követték a genetikus algoritmusokról és a neurális hálózatokról szóló kutatási és gyakorlati eredmények. Ezek a módszerek egyenként is és hibrid alkalmazásban is teret hódítottak, és együttesen alkotják a lágy számítási módszerek csoportját.

Kulcsszavak: lágy számítási módszerek (Soft Computing), fuzzy, neurális hálózatok, genetikus algoritmusok

MIT NEVEZÜNK LÁGY SZÁMÍTÁSI MÓDSZERNEK?

„*A set of computational techniques to solve problems by imitating nature's approaches.*"

A lágy számítási módszer (angolul Soft Computing, rövidítve SC) a mesterséges intelligencia (MI) egyik olyan kutatási és megvalósítási módszere, amely közel áll a természetes emberi következtetésekhez, az emberi feladatmegoldásokhoz, mégis mesterséges, automatizálható számítási módszer. A bizonytalanság és a döntéshez, következtetéshez szükséges információk hiánya miatt a hagyományos matematikai modellekkel nehezen kezelhető, komplex rendszerekben, a nem-lineáris problémák megoldásában hozott forradalmi változást; bonyolult rendszerek esetében is hatékonyabb, mint más hagyományos modellek, módszerek.

A lágy számítási módszerek alapja a fuzzy halmazok elmélete, a fuzzy következtetési rendszer. A fuzzy szó jelentése eredetileg bolyhos, elmosódott, nem éles határvonalú. Ha arra gondolunk, hogy valamely állítás egy adott pillanatban, helyzetben mennyire igaz, akkor beláthatjuk, mi is mérlegelünk: vagy teljesen és egyértelműen igaz vagy hamis az állítás (akkor nem fuzzy), vagy az adott körülmények között megbecsüljük, mennyire igaz az, amit vizsgálunk, és még ha nem is számszerűsítjük az igazságértékét, a mérlegelés eredménye alapján döntünk adott helyzetben – vagyis fuzzy megközelítést használunk. Például annak az igazságértéke, hogy valaki rendelkezik tanári oklevéllel, nem fuzzy, mert az állítás vagy igaz vagy hamis, de annak az állításnak az igazságértéke, hogy valaki jó tanár-e, már nem egyértelmű. Az igazságérték meghatározása szubjektív, esetleg csak más szavakkal írható le, mint jó vagy nem jó, vagy az igazságérték legfeljebb valahol „félúton" vagy „útközben" van az igaz és hamis között.

Meg kell tanulni „fuzzy-ul gondolkodni"? Vagy ez a természetes módja a gondolkodásunknak? Inkább ez utóbbi, hiszen a megismerés és elfogadás után a fuzzy és a soft computing elméletek széles körben elterjedtek. Jól mutatja ezt az is, hogy az első fuzzy cikk megjelenése óta (ZADEH 1965) az elméletből mindennapos gyakorlat lett. A gyakorlati alkalmazások általában jóval megelőzik azok matematikai hátterének részletes kidolgozását és beillesztését az egyetemes matematikai axiómarendszerbe. Az elméletet a kilencvenes évek közepén még csak doktori iskolákban oktatták, ma már kötelező tananyag a műszaki felsőoktatásban és több más olyan tudományterületen is, ahol teret hódított.

A fuzzy atyja, Lotfi A. Zadeh[1] nevezte először soft computing gyűjtőnéven az 1991-ben megjelent cikkében a fuzzy, neurális hálózat és genetikus algoritmus elméleteket, továbbá a valószínűségi következtetési rendszereket (ZADEH, 1991). Azóta az SC-módszerek továbbiakkal bővültek, amelyek részben a már említettekre épültek, részben újabb és újabb hibrid rendszerekből alakulnak ki, mint például a káoszelmélet vagy a tanulási algoritmusok jó része. Mostanság a már mindennapos műszaki alkalmazások mellé felsorakoznak azok az algoritmikus megoldások is, amelyeket az intelligens, részlegesen ellenőrzött (azaz bizonyos mértékig önállóan működő) rendszerekben, kockázatkezelő rendszerekben vagy a keresési (webkeresési) és természetes nyelven leírt rendszerekben használunk.

Vitathatatlan azonban, hogy mindezen elméletek alapja a fuzzy elmélet, amely nélkül ezekről a szabadon szárnyaló MI-modellekről nem is álmodhattunk volna. Sőt, ezek nem álmok, hanem megvalósult, szoftver- és hardver-háttérrel rendelkező valódi problémamegoldó mechanizmusok. Ezekről nagyon sok forrásban olvashatunk, de a leginkább kompetens platform erre a The Berkeley Initiative in Soft Computing (BISC) platform, amelyet a ma kilencvenegy éves

[1] Lotfi Askar Zadeh Azerbajdzsánban született 1921-ben, matematikus, villamosmérnök, a fuzzy gondolat megteremtője, a kaliforniai Berkeley Egyetem professor emeritusa.

Zadeh felügyel, és a legbonyolultabb matematikai felvetésektől a legnaivabb soft computinggal kapcsolatos kérdésekre is választ kaphatunk, hiszen minden valamit is magára adó érintett szakember olvassa, és mint közösségi portált, tapasztalatcserére használja azt.[2] Beszéljünk most tehát elsősorban és először a fuzzyról, hiszen az elmúlt évtizedek lágy számítási módszereinek alapját képezi, és ez a módszer az, amely ténylegesen idestova ötvenéves. A többi lágy számítási módszer magában is megér egy-egy kiemelt fejezetet egy következő időszakban.

A KEZDETEK

A fuzzy a matematikában jól ismert, korábbi halmazelméleti, logikai és műveleti elméletek általánosítása. A halmazelméleti karakterisztikus függvény fogalmát kiterjesztette a tagsági függvény fogalmára, a kétértékű logikában alkalmazott helyes következtetési szabályokat (mint például a Modus Ponens) általánosította, és a kétértékű logikai igazságérték-univerzumot (0 – hamis, 1 – igaz) kiterjesztette a [0, 1] zárt valós intervallumra, túllépve a diszkrét értékekkel manipuláló többértékű logikákat[3] (ŁUKASIEWICZ 1920). Eszközként a megalkotott logikai univerzumon a logikai kijelentések igazságértékének modellezésére a Schweizer és Sclar (SCHWEIZER–SCLAR 1960) által korábban megírt, az alkalmazható műveleti tulajdonságokat összefoglaló cikkét vette alapul, amelyben a szerzőpáros a t-norma és konorma családokat tárgyalta.

Az 1965-ben megjelentetett cikk néhány matematikus pozitív kritikája és több szakember, az elmélet filozófiai újszerűségét bíráló, véleményén túl mindaddig nem váltott ki nagyobb érdeklődést a tudományos világban, amíg elsősorban japán szakemberek nem valósítottak meg olyan hatékony műszaki alkalmazásokat, amelyekben fuzzy alapú következtetési rendszereket vezettek be. Ezek a hagyományos szakértői és más problémamodellező rendszereket helyettesítve nagyságrendekkel jobban, hatékonyabban működtek, hiszen kezelték a bizonytalanságot, pontatlanságot. A Távol-Keleten néhány éven belül felismerték annak lehetőségét, hogy ezek a formai, elméleti megoldások jól hasznosíthatóak a nem lineáris irányítási problémák megoldásában, ahol a hagyományos differenciálegyenletekkel leírt modellek helyett fuzzy alapú közelítő következtetési rendszereket alkalmaztak. Ehhez nagy lendületet adott Mamdani (MAMDANI–ASSILIAN 1975, illetve MAMDANI 1974) máig is verhetetlen következtetési rendszere, amely egyszerű, érthető, és bármennyire is ellenérzést

[2] http://www-bisc.cs.berkeley.edu/BISCProgram/

[3] Jan Łukasiewicz lengyel származású matematikus és filozófus, 1878-ban született Lembergben. 1956-ban halt meg.

vált ki a matematikusokból, nemcsak a szimulációs rendszerekben, hanem a valós rendszerekben is hatékonyabb más numerikus módszereknél. A gond vele és más jól működő fuzzy alkalmazásokkal is az, hogy a megalapozottsága a hagyományos matematikai eszköztárral nehézkes, meg kell találni az axiomatikus felépítmény minden elemét, hogy beépülhessen a matematikai elméletek közé teljes értékűként, továbbá, hogy a hagyományos logika néhány örök érvényűnek hitt szabályának ellentmond (az ellentmondástalanság és a harmadik kizárásának elvének).

Érdekes módon alakult a fuzzy fejlődése az elmúlt évtizedekben. A Távol-Keleten egy évtized sem telt el a megjelenésétől, és alkalmazást nyert az iparban és a gazdasági alkalmazásokban, és a felhasználók az egyszerű matematikai háttérrel is beérték. Fuzzy irányítással működnek többek között az ott gyártott autók automata váltói, a háztartási gépek, a gyorsvasutak forgalomirányítása (TSUNA–TAKAMASA 1988). Sokak véleménye szerint nem véletlen, hogy éppen Japán járt az élen az alkalmazásban. Ez nemcsak a nyolcvanas évek rohamos ipari fejlődésének köszönhető ebben a térségben, hanem a keleti filozófia nyitottságának a nem „éles" igazságértékre, azaz könnyebben elfogadják a nem egészen igaz, nem egészen hamis megfogalmazásokat is, míg az európaiak, a nyugati kultúrák sokkal inkább a határozott igaz vagy hamis mellett állnak ki (KÓCZY–TIKK 2012).

A fuzzy megteremtőjének hazájában, az Amerikai Egyesült Államokban évtizedekig csak az űrkutatás és a hadiipar volt érdekelt az alkalmazásában. A matematikusok világa vagy hallgatásba burkolózott, vagy bírálta az elméletet, a valószínűség-számítás elméletének ágaként kezelte. Pedig az nem az eseményalgebráról szól, legfeljebb fellelhetők algebrai szempontból hasonló eljárások a két terület között (DUBOIS–PRADE 1984).

Az európai fuzzy iskolák (Linz, Gent, Toulouse, Budapest) az elméleti kutatásokkal foglalkoztak elsősorban. Európa és a világ vezető fuzzy kutatói már 1979 óta minden év februárjában összegyűlnek, és olykor tematikusan, olykor a friss kutatások tükrében elemzik a fuzzy témában publikált eredményeket, kiszűrik a matematikai módszertani hibákat, rámutatnak azokra, csiszolják a fuzzy nyelvezetét, terminológiáját, és a lehető legmélyebben megpróbálják a letisztult elméleteket beilleszteni az általánosan elfogadott matematikai elméletek rendszerébe. Ennek az az oka, hogy nagyon sok matematikus még ma is komolytalannak ítéli meg a fuzzy elméletet, nem ismeri el önálló matematikai területként, a tárgyalt téma tükrében hol általánosított logikai, hol kizárólag operációkutatási területként kezeli.

Pedig Zadeh, aki a mai napig a Berkeley Egyetemről figyeli alkotásának fejlődését, elfogadottságát, és számon tartja az összes sikeres alkalmazási területet, sőt kutatók százait, akik a témával foglalkoznak, nem ezt várja el. 1984-es nyilatkozatában kiemelte[4], hogy a fuzzy új élet- és tudományfilozófia is egyben, mely nem a formalizmusokat követi. Alkalmazásorientált, és célja az, hogy az adott problémához a leghatékonyabb eszköztárat állítsa fel, nem pedig az, hogy az mindenben az elfogadott matematikai elmélet-rendszerhez igazodjon. Nyilatkozatában kiemelte, hogy a valós élet sokkal inkább igazodik a fuzzy elméleten alapuló logikához. Az emberi gondolkodáshoz sokkal közelebb áll, mint a korábbi számítógépes alkalmazásokban, szakértői rendszerekben, és általában a mesterséges intelligenciában alkalmazott kétértékű, éles határokkal rendelkező logika. Már akkor kiemelte, hogy szerinte a számítógépek szoftver és hardver architektúrájában ez előbb-utóbb tükröződni fog. És igaza lett, lásd például a szemantikus webkereső algoritmusokat vagy a felhő-hardwer architektúrákat (SANCHEZ 2006).

Az akkori nyilatkozat szerint a fuzzy olyan a tudományban (a matematikában és a logikában), mint egy farmernadrágos, pólóba öltözött vendég egy előkelő fogadáson, ahol kötelező a szmoking, a nyakkendő. Jön, megbotránkoztat, de már nem lehet kirekeszteni. Ki tudja, mi történt a világgal az elmúlt közel öt évtized alatt? Talán a fogadásokon lettek engedékenyebbek, vagy a fuzzy öltözött a kötelező ruhába, ha már megállíthatatlan alkalmazási lendülete tekintélyt adott neki is és az őt kutató és fejlesztő megszállottaknak.

A LOGIKA, MINDENEK ALAPJA

Arisztotelész[5] foglalkozott először a logika fogalmával. A források szerint elméleti és nyelvfilozófiai sajátosságokat is tárgyalt műveiben, de a kijelentéslogikát is megalapozta: azaz azt állította, hogy minden kijelentésnek van igazságértéke, igaz vagy hamis, és az egyszerű mondatokból szerkesztett összetett mondatok, illetve a kimondott következtetések igazságértéke is meghatározható az alkotó mondatok alapján. A formális következtetések, szillogizmusok, amelyekről ő beszélt először, a helyes következtetési szabályok alapját képezték a XIX. században[6], illetve a XX. század elején induló folyamatnak, amelyben a matematikai logika szintakszisa és szemantikája megalapozta a matematikai elméletek axiomatikus keretek közé helyezését (például Peano algebrai axiómarendszere esetében).[7] Ezeknek az axiomatikus felépítményeknek az volt a lényege, hogy ellentmondásmentes és teljes alapfogalom és alapigazság-rend-

[4] Communications of the ACM, April 1984, Volume 27, Number 4, REPORTS AND ARTICLES COPING WITH THE IMPRECISION OF THE REAL WORLD, An Interview with Lotfi A. Zadeh, 304–311.

[5] Görög filozófus (i. e. 384–i. e. 322).

[6] George Boole és Augustus De Morgan úttörői voltak ezeknek az elméleteknek.

[7] Giuseppe Peano olasz matematikus (1858–1932).

szerből (axiómák), helyes következtetési szabályok alapján tételeket alkossanak, bizonyítsanak, azaz újabb igazságokat vezessenek le, és ha szükséges, újabb fogalmakat vezessenek be (definíciók).

David Hilbert a XX. század elején megpróbálta az axiomatikus felépítmények átlátható formalizmusán felbuzdulva ezeket az elvárásokat általánosítani a matematika minden területére. Kurt Gödel azonban 1931-ben bizonyította, hogy minden rendszernek, az axiomatikusan felépítetteknek is, vannak sajátosságai, a logikán alapuló bizonyításokhoz a háttérhalmaz (univerzum) ismerete is szükséges. Kiderült, hogy egy kijelentés igazságértéke nem határozható meg minden esetben a környezet ismerete nélkül. Például annak a kijelentésnek az igazságértéke, hogy $x< 3$, nem határozható meg egyértelműen, ha nem közlünk további tényeket. Az állítás ugyanis nem igaz, ha x háromnál nagyobb szám, de igaz lehet, ha x általában csak az egész számok halmazából való. Ugyanakkor felmerül a kérdés, hogy vajon az $x< 3$ kijelentéstől azt várjuk-e, hogy minden halmazbeli elemre igaz legyen, vagy csak egy olyat keresünk, amelyre igaz lesz. Ezekre a kérdésekre már Charles Peirse és a Gottlog Ferge is kereste a választ a XIX. század végén, és elméleteik kapcsán eljutottunk az elsőrendű logikáig. Az elsőrendű logika, amely a predikátum vagy kijelentés-logikán túl kezelni tudta a változókkal felírt kijelentések igazságértékét is, természetesen a háttérhalmaz (univerzum) ismeretében, és kibővülve az úgynevezett univerzális és egzisztenciális kvantorokkal, amelyek a „minden", illetve a „létezik" szavakat modellezték, már nagyobb mozgásteret biztosított az elméletek továbbfejlesztéséhez. Az ezekkel a formai kiegészítésekkel kialakított elsőrendű logika kijelentései a változók univerzumbeli helyettesítéseivel és a függvények, relációk interpretációjával visszavezethetőek voltak a kétértékű predikátumlogika (igaz, jelöljük 1-gyel, és hamis, jelöljük 0-val) szemantikájára.

A kétértékűség egyébként is meghatározó volt a XX. század első felében. Kétállású elemekből és Neumann János zseniális ötletei alapján megépítették a számítógépet, annak hardvere a kétértékű logikai műveletek alapján épült kapukkal működött, és az első szakértői rendszerek is beérték a formális, szimbolikus kétértékű logika eszközeivel. Előszeretettel alkalmaztak ha – akkor típusú és a BOOLE-féle logika implikációjára vonatkozó következtetési szabályokat. Mindez még beleillett a kizárások elméletébe (egyszerre nem lehet valami igaz is és hamis is, illetve egy állítás vagy hamis vagy igaz, harmadik lehetőség nincs). Az 1. táblázatban a kétértékű kijelentés-logika szemantikáját láthatjuk, azaz két ismert igazságértékű kijelentésből (legyenek ezek p és q kijelentések) alkotott további kijelentések igazságértékét.

1. táblázat

p	q	nem p (jelölése $\neg p$)	p és q (jelölése $p \wedge q$, azt is mondjuk, ez két állítás *konjukciója*)	p vagy q (jelölése $p \vee q$, azt is mondjuk, ez két állítás *diszjunkciója*)	ha p akkor q (jelölése $p \Rightarrow q$, azt is mondjuk, hogy p *implikálja q-t*)
igaz	igaz	hamis	igaz	igaz	igaz
igaz	hamis	hamis	hamis	igaz	hamis
hamis	igaz	igaz	hamis	igaz	igaz
hamis	hamis	igaz	hamis	hamis	igaz
		azaz: a kizá-rással: ha az eredeti állítás *igaz*, akkor az el-lentettje *hamis*.	azaz: ha két állításból egy *és*-sel összekapcsolt összetett mondatot szerkesztünk, akkor annak igazságértéke csak akkor lesz *igaz*, ha mindkét részmondat *igaz*.	azaz: ha két állításból egy *vagy*-gyal összekapcsolt összetett mondatot szerkesztünk, akkor annak igazságértéke csak akkor lesz *hamis*, ha mindkét részmondat *hamis*.	azaz: ha a p fel-tételből követ-kezik a q követ-kezmény, akkor a **ha *p* akkor *q*** állítás csak ak-kor hamis, ha a feltétel igaz, de a következmény hamis.

Kitüntetett szerepe van az implikációnak, hiszen a mondatszerkezetből láthatjuk, hogy szabályok (*ha* meleg van, *akkor* keveset fűtünk), bizonyítások (*ha* egy négyszög érintőnégyszög, *akkor* a szemben levő oldalak hosszának összege egyenlő) alapmodellje. A táblázatban felsorolt egyszerű formulák, mondatok ($\neg p$, $p \wedge q$, $p \vee q$, $p \Rightarrow q$) segítségével továbbiakat szerkeszthetünk, és azok igazságértékét kiértékelhetjük. Kétértékű logika esetében n egyszerű állításból szerkesztett összetett mondatnak pontosan 2^n kiértékelő sora van. Két formulára akkor mondjuk, hogy ekvivalens (jelölése $p \Leftrightarrow q$), ha a bennük szereplő kijelentések azonos igazságértékére azonos kiértékelést eredményeznek. Egy nagyon fontos, a kétértékű logikában még érvényes, de a többértékűekben már jellemzően nem érvényes ekvivalencia a $(p \Rightarrow q) \Leftrightarrow (\neg p \vee q)$.

Vannak olyan kijelentések, összetett mondatok, amelyek a bennük szereplő kijelentések valódi jelentésétől függetlenül mindig igazak, ezek a *tautológiák.*

Közülük is különösen fontosak azok, amelyek implikáció alakúak. Ha a formális logika alapfeladatát meg szeretnénk határozni, igazából csak egy dolog a fontos: olyan formai és jelentéstani (szintaktikai és szemantikai) szempontból is helyes formulákat találjunk, amelyek egy adott, *igaz* igazságértékű feltételrendszerből ($p_1, p_2, , \dots, p_n$ állítások konjukciójából, azaz a **premisszákból**) *igaz* igazságértékű q következtetést (**konklúziót**) ad meg. Az ilyen formulákat nevezzük *helyes következtetési szabályoknak*.

Formailag a kétértékű logikában felírhatjuk, hogy olyan igaz formulákat keresünk, amelyek

$$(p_1 \wedge p_2 \wedge \dots \wedge p_n) \Rightarrow q$$

alakúak. A helyes következtetési szabályokat gyakran írjuk fel a következő alakban:

$$\frac{p_1, \quad p_2, \quad \dots, \quad p_n}{q}$$

kiemelve a vonal felett a premisszákat, a vonal alatt a következményt. A sok helyes következtetési szabály közül most csak egyet emeljünk ki, amely a fuzzy alapú Mamdani-féle következtetési rendszernek is alapja, a *modus ponens*-t (MP).

$$\frac{p \Rightarrow q, \quad p}{q},$$

azaz: ha p-ből q következik, és fennáll a p állítás is, akkor ezekből levonhatjuk a q következtetést.[8]

A mesterséges intelligencia problémakörében már a kezdetektől felmerült, mi történjen az olyan kijelentésekkel, amelyek igazságértéke bizonytalan (mert szubjektív megítélés alapján születik, mérési vagy más okokból pontatlan, bizonytalan). Łukasiewicz háromértékű logikája, ahol az igaz (1), hamis (0) igazságértékek mellé bevezette a bizonytalan (1/2) igazságértéket is, adott ugyan némi lehetőséget a megoldásra, de a számítás nehézkes volt, és a bizonytalanságot nehezen kezelték a ha – akkor szerkezetű szabályrendszerekben. A hagyományos (kétértékű) logikai következtetési rendszerek minden szabálya sem volt már egyértelműen igaz (nem igaz például a $(p \Rightarrow q) \Leftrightarrow (\neg p \vee q)$ ekvivalencia, ami nagyon sok bizonyítási eljárás alapja). A 2. táblázatban a Łukasiewicz-féle kiértékelési táblázatot láthatjuk.

[8] A matematikai logikáról nagyon sok forrásból lehet olvasni, de figyelmükbe ajánlom a magyar nyelvűek közül a Pásztorné-, Várterész- (2003) és az Urbán- (2006) köteteket, ahol a Łukasiewicz-féle logikáról is bővebben olvashatnak.

2. táblázat

p	q	$\neg p$	$p \wedge q$	$p \vee q$	$p \Rightarrow q$	$\neg p \vee q$
1	1	0	1	1	1	1
1	1/2	0	1/2	1	1/2	1/2
1	0	0	0	1	0	0
1/2	1	1/2	1/2	1	1	1/2
1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2
1/2	0	1/2	0	1/2	1/2	1/2
0	1	1	0	1	1	1
0	1/2	1	0	0	1	1/2
0	0	1	0	0	1	1

Łukasiewicz az általa használt műveleteknél már felhívta a figyelmet arra, hogy ha számszerűsítjük az igazságértékeket, akkor az *és* és *vagy* műveletek rendre úgy viselkednek, mintha a számszerű igazságértékek minimumát vagy maximumát keresnénk. Ezt és a Schweizer–Sclar-elméletet általánosítva vezette be Zadeh a fuzzy halmazokon a műveletek fogalmát, és az ezeken alapuló következtetési szabályok alapjait.

FUZZY HALMAZOK, MŰVELETEK ÉS KÖVETKEZTETÉSI SZABÁLYOK, AHOGYAN AZ FÉL ÓRÁBAN TANÍTHATÓ

A fuzzy alapfogalmak bemutatásához egy példával élek, és nem a szigorú matematikai formai felvezetési követelményrendszert veszem alapul (axiómák, definíciók, tételek). Teszem ezt nem titkoltan a fuzzy népszerűsítése érdekében, és nem utolsósorban Zadeh elképzelése alapján, miszerint „pólóban és farmerben", alkalmazásorientáltan, fuzzy szellemben dolgozzunk, ha a modellezendő feladat azt kívánja. A matematikai megalapozáshoz magyar nyelven Kóczy T. László és Tikk Domonkos kötetét (KÓCZY–TIKK 2012), angol nyelven többek között a (KLEMENT–MESIAR–PAP 2000) forrást ajánlom figyelmükbe.

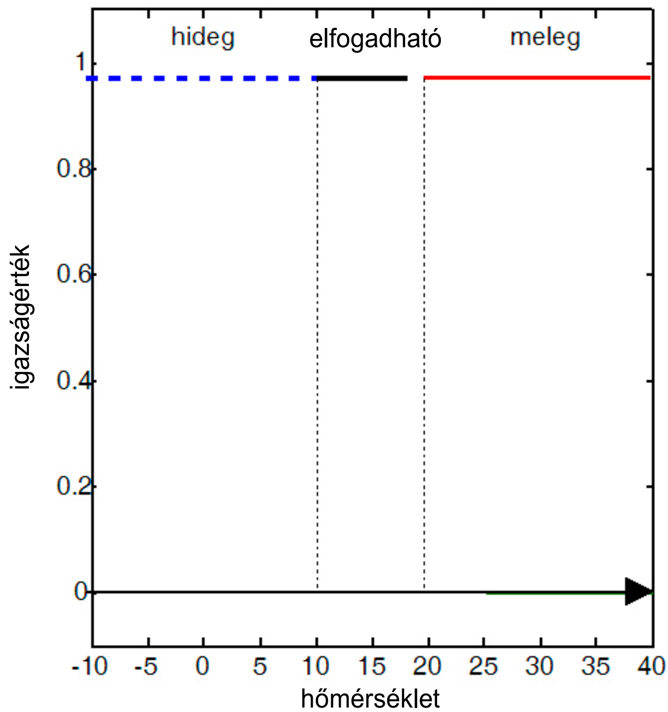
Mikor mondjuk, hogy hideg van a szobában?

A kétértékű logikában csak szigorúan éles határokkal tudunk dolgozni, ha egy állítás igazságértékét kell megállapítanunk. Számszerűsítve, ha valami igaz, akkor igazságértéke 1, ha pedig hamis, akkor igazságértéke 0.

Ha a szobahőmérsékletről nyilatkozunk, akkor a hőmérsékleti skálán (univerzumon) a következőket mondhatjuk el: -10 és +10 Celsius-fok között **hideg** van, itt a **hideg** állítás igazságértéke 1, az összes többi hőmérsékletértékre a **hideg** állítás igazságértéke 0.

+10 és +21 között **elfogadható** a hőmérséklet, +21 és +40 fok között **meleg** van (a -10 és +40 fokos határokon kívül eső értékeket most nem vesszük figyelembe, ha kell, a határok bővíthetők, nincs jelentőségük), és ezt az igazságérték *karakterisztikus függvényével* így ábrázolhatjuk (1. ábra)[9]:

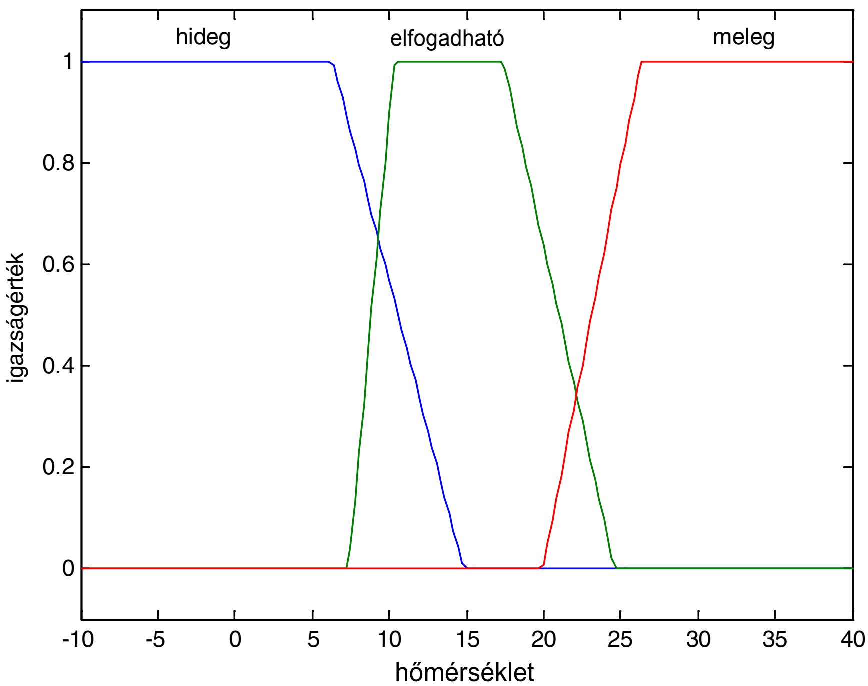
1. ábra: Éles (crisp) határokkal ábrázolt igazságérték



Természetesen a valóságban ezt senki nem így gondolja, mindenkinek más a hőérzete, a megítélése. Azért megegyezhetünk abban, hogy ha egy kicsit másképp alakítjuk az igazságértékek függvényét, akkor elfogadható lesz mindanynyiunk számára (2. ábra). Ezeket a függvényeket *tagsági függvényeknek* hívjuk, hiszen azt mutatják, mennyiben tartozik az adott hőmérsékletérték a **hideg, elfogadható** vagy **meleg** tartományba.

[9] Az ábrákat, következtetési szabályokat és egyebeket a szerző MATLAB környezetben készítette el.

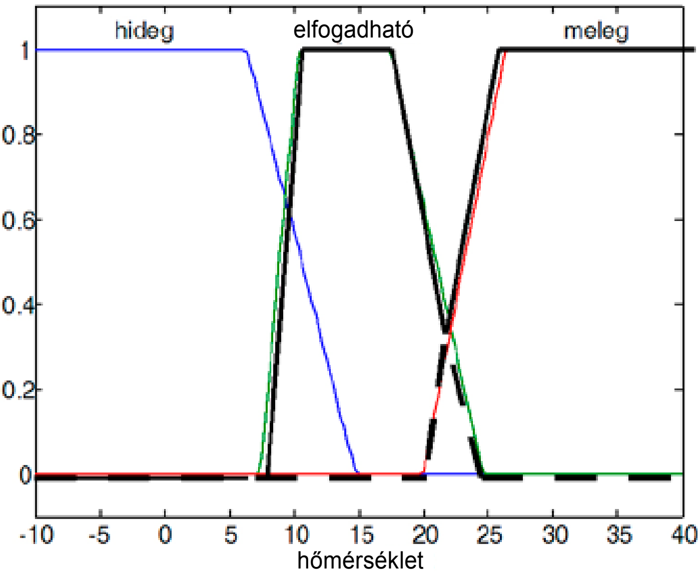
2. ábra: Fuzzy halmazokkal (kijelentésekkel) ábrázolt igazságérték



Egyes hőmérsékleteknél valakinek melege van, egyesek elfogadhatónak ítélik meg a szobahőmérsékletet, és az ítéletek „mértéke" a 0 és 1 között változik.

Figyeljük meg az ábrán, hogy azt a tartományt, ahol például a **meleg *és* elfogadható** (logikai *és*) kijelentéseknek is 0-nál nagyobb az igazságértéke, pontosan a két tagsági függvény minimuma határolja, egy erősebb szaggatott vonal jelöli (3. ábra). Ahol a **meleg *vagy* elfogadható** (logikai *vagy*) kijelentéseknek is 0-nál nagyobb az igazságértéke, pontosan a két tagsági függvény maximuma határolja, egy erősebb folytonos vonal jelöli (3. ábra).

3. ábra: Fuzzy és *illetve* vagy



Hogyan szabályozzuk a hőmérsékletet fuzzy eszköztárral?

Ha hideg van, **erősen** fűtsünk, ha elfogadható a hőmérséklet, akkor **gyengén** fűtsünk, ha meleg van, **nem kell** fűtenünk. Ezek a fuzzy szabályaink.

A következtetési rendszerünk hasonlít a modus ponensre, de minden szabálykimenetet (következményt: erősen, gyengén, nem kell) olyan mértékben veszünk figyelembe, amilyen szinten azt az adott pillanatban a bementet, a mért hőmérséklet azt indokolja, azaz amilyen szinten találkozik a szabálypremisszával (hideg, elfogadható, meleg).

Ezt a módosított modus ponenst így értelmezzük:

Ha **A**-ból **B** következik
Adott **A’** (azaz körülbelül **A**)

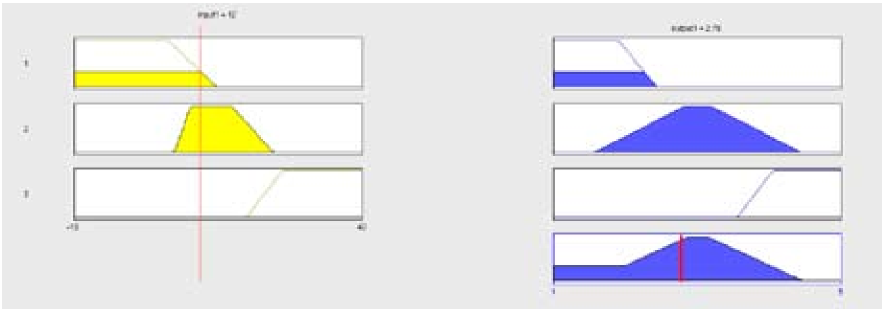
Akkor a következmény **B’**

(Azaz körülbelül B, tehát B és B’ is olyan szinten egyeznek, amilyen szinten A és A’ találkoznak.)

A 4. ábrán ezt vizualizáljuk: egy-egy sor egy-egy szabályt, illetve a kapcsolódó fuzzy premisszákat (hideg, elfogadható, meleg) és szabálykövetkezményeket (erősen, gyengén, nem kell) ábrázoljuk, látható a mért hőmérséklet (12 fok), és látható az érintettség mértéke a szabályban. Minden egyes szabálykimenetet összegzünk, és egy jellemző fűtési intenzitást adunk meg ennek alapján (a fűtésintenzitást 1 és 5 közé skáláztuk az egyszerűség kedvéért, ahogyan az a hőszabályzókon általában látható). A kimenet 2,78-as fűtési intenzitás.

Így gondoltuk mi is. És nem írtunk fel egyetlen egyenletet sem!

4. ábra: A szabály és következtetési rendszer (Mamdani-módszerrel, MATLAB fuzzy Toolbox környezetben)



Természetesen a bonyolult irányítástechnikai problémák, a több-bemenetes fuzzy alapú kockázatkezelők ennél összetettebbek, de általában felhasználónak és szakembernek is egyszerűbben kezelhető eszköztárt biztosít a fuzzy a megoldáshoz, mint a hagyományos módszerek (TAKÁCS 2010).

A RÉGIÓ FUZZY SZAKEMBEREI, SZERVEZETEI, ESEMÉNYEI

A fuzzy világot, a szakembereket a Nemzetközi Fuzzy Szövetség, az IFSA (*International Fuzzy Systems Association*)[10] fogja össze, melynek számos regionális és nemzeti alapszervezete van. A Magyar Fuzzy Társaság[11] nyitott minden határon túli magyar kutató befogadására is, ma is számos tagja van a Kárpát-medence országaiból és a tengerentúli magyar tudományos világból is.

Alapító tagjának, Vámos Tibor akadémikusnak elévülhetetlen érdemei vannak abban, hogy a magyar fuzzy szakemberek ismertek és elismertek a világban, hiszen időben felrázta a magyar tudományos közvéleményt az ügy kapcsán, és olyan neves alkalmazásokkal és elmélettel foglalkozó szakembereket inspirált mint Rudas Imre, Kóczy T. László, Fodor János, Fullér Róbert és mások, akik nemzetközileg elismert tudósai a szakterületnek.

[10] http://www.isc.meiji.ac.jp/~ifsatkym/
[11] http://mft.iit.uni-miskolc.hu/

A szerbiai fuzzy szakemberek szerveződése sajnos még várat magára, de nagyon sokat jelent Pap Endre akadémikus, a Vajdasági Tudományos Akadémia jelenlegi elnökének nemzetközi elismertsége a fuzzy matematikai megalapozottságának tekintetében. A kialakult szakmai kapcsolatrendszerre alapozva indult el tíz évvel ezelőtt az a kezdeményezés, hogy évente magyar–szerb szimpóziumot rendezzünk az intelligens rendszerek témakörében, azaz olyan tematikával, amely szorosan kapcsolódik a lágy számítási módszerekhez, és ebben a fuzzy-val foglalkozó szakemberek jártak az élen. A konferencia mára nemzetközivé nőtte ki magát, jegyzik a jelentősebb szakmai körökben is, és az IEEE[12] nemzetközi mérnökszövetség elektronikus adatbázisába minden, a konferencián ismertetett eredmény felkerül. A Sisy (International Symposium on Intelligent Systems and Informatics)[13] konferencia jó példája a határon átívelő (határtalan) gyümölcsöző tudományos barátságnak, eredményes együttműködésnek.

HARC A TUDOMÁNYOSSÁGÉRT, ELISMERTSÉG AZ ALKALMAZHATÓSÁGÉRT

A fuzzy gondolatvilág megállta a helyét a világban az elmúlt fél évszázadban. Magját elvetették, gyökeret eresztett és kilombosodott, termést hozott, új fajokat indított útjára, csak még a „fajok szerinti besorolását" várja. De a terjedését és fejlődését ez már nem állíthatja meg.

IRODALOM

DUBOIS, Didier; PRADE, Henri 1983. Ranking fuzzy numbers in the setting of possibility theory = *Information Science*, Volume 30, Issue 3, 183–224.

KLEMENT, Erich Peter; MESIAR, Ratko; PAP, Endre 2000. *Triangular norms*, Kluwer Academic Publishers, Dodrecht

KÓCZY T. László, TIKK Domonkos 2012. *Fuzzy rendszerek.* Typotex Kiadó, Budapest 1http://www.typotex.hu/e_book.htm (megújított kiadás)

ŁUKASIEWICZ, Jan 1920. O logice trójwartościowej = *Ruch filozoficzny 5,* 170–171.

MAMDANI, E. H. 1974. Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant = *Proc IEEE*, 121–159.

MAMDANI, E. H., ASSILIAN, S. 1975. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller = *International Journal of Man-Machine Studies* 7(1): 1–13.

PÁSZTORNÉ VARGA Katalin, VÁRTERÉSZ Magdolna 2003. *A matematikai logika alkalmazásszemléletű tárgyalása.* Panem Kft., Budapest

SANCHEZ, Elie 2006. *Fuzzy Logic and the Semantic Web.* Elsevier Science

SCHWEIZER, Berthold; SCLAR, Abe 1960. Statistical metric spaces = *Pacific Journal of Mathematics,* Volume 10, Number 1., 313–334.

[12] http://www.ieee.org/index.html

[13] http://conf.uni-obuda.hu/sisy2012/

TAKÁCS Márta 2010. Multilevel Fuzzy Approach to the Risk and Disaster Management = *Acta Polytechnica Hungarica*, Volume 7, Issue Number 4, 2010., 91–102.
TSUNA, Sasaki; TAKAMASA, Akiyama, 1988. Traffic control process of expressway by fuzzy logic = *Fuzzy Sets and Systems,* Volume 26, Issue 2., 165–178.
URBÁN János 2006. *Matematikai logika.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest
ZADEH, Lotfi A. 1965. Fuzzy Sets = *Information Control 8*, 338–353.

The First Five Decades of Soft Computing

Soft computing supplies a mathematical toolkit which, compared to conventional methods of computing, deals well with uncertainty, imprecision, lack of information, and approximation that appear in systems to be modelled. This said, by following the model of human way of thought, soft computing gives results often in a human-like manner.

Soft computing was largely contributed by Lotfi A. Zadeh's article on fuzzy sets published in 1965, as well as subsequent publications on decision processes in complex systems, and on possibilistic models. Other research and practical results followed on genetic algorithms and neural networks. These methods have gained ground both individually and in hybrid applications, and they are components of soft computing.

Keywords: soft computing, fuzzy, neural networks, genetic algorithms