

FUZZY LOGIKA ALKALMAZÁSA A REPÜLŐTECHNIKA ÜZEMELTETÉSÉBEN

Dr. Pokorádi László
egyetemi docens
ZMNE Haditechnikai tanszék
pokoradi@externet.hu

Napjaink korszerű technikai berendezései és döntéshozatali módszerei mind szélesebb körben alkalmaznak valamilyen fuzzy eszközt, fuzzy szabályzó vagy szakértői rendszert. A fuzzy logika 1965-ben született meg, LOFTI ZADEH munkássága eredményeként. A cikk — a teljesség és a matematikai egzakttság mellőzésével — a fuzzy logika előzményeit és alapfogalmait mutatja be, illetve példákkal szemlélteti annak alkalmazási területeit a repülőtechnika üzemeltetésében.

BEVEZETÉS

A valós világ — jellegéből adódóan — mindig elkerüli a precíz megfogalmazásokat és többnyire valamilyen bizonytalansággal, pontatlansággal rendelkezik. Például a mindennapi fogalmaink is valamilyen mérvű bizonytalansággal, pontatlansággal bírnak. Ki számít magasnak? Ki az öreg? Mit teszünk, ha egy magas és öreg úriembert kell keresnünk? S az általunk kiválasztott személy megfelelő-e mások — a fenti szempontok szerinti — fogalmainak, igényeinek?

A fuzzy logika egy olyan új matematikai eszköz, mellyel a valós világ fenti bizonytalanságait tudjuk modellezni [10].

A szótárak szerint a “fuzzy” angol szó jelentése (többek között): homályos, elmosódott, lágy körvonalú, életlen kontúrú. Alapvetően a fuzzyság a pontatlanság egy típusa. Olyan elemek csoportosításából, halmazából származó pontatlanság, melyeknek nincsenek határozott körvonalai [3]. A fuzzy teóriájának egyik fő célja olyan módszerek kidolgozása, melyekkel szabályokba foglalhatók és megoldhatók a túlságosan bonyolult, hagyományos vizsgálati módszerek segítségével nehezen megfogalmazható problémák. Mérnöki szempontból a fuzzy logika egy olyan módszer, mellyel az analóg folyamatokat digitális eszközökkel (például személyi számítógépekkel) lehet modellezni. Más — humán jellegű —

tudományos fogalmazásban a fuzzy elmélet az intuíciót tekinti a központi magyarázó paradigmának [4, 11].

A FUZZY LOGIKA ELŐZMÉNYEI

A klasszikus logika főbb elveit először ARISZTOTELÉSZ fejtette ki, és legfontosabb eljárásait is ő határozta meg. Az arisztotelészi logikát talán legjobban a kizárt közép törvényével tudjuk jellemezni, ami szerint minden logikai következtetés csak igaz {1} vagy hamis {0} eredményű lehet. HÉRAKLEITOSZ javasolta először egy következtetés lehet egyszerre igaz és hamis is. (Érdekes megjegyeznünk, hogy HÉRAKLEITOSZ — nehezen érthető stílusa miatt — a HOMÁLYOS melléknevet kapta kortársaitól.)

BOLZANO, BOOLE, DE MORGAN és FREGE munkái tették lehetővé, hogy a „klasszikus” (kétértékű) logika önállósuljon, kiválgjon a filozófiából, és eljusson a matematikai logikáig. BOOLE és DE MORGAN munkássága nyomán fejlődött ki a logika algebraja az osztályok és relációk algebrajával együtt.

A XX. Század elején a lengyel LUKASIEWICZ javasolta egy, úgynevezett háromértékű logika bevezetését $\{-1; 0; 1\}$ értékekkel.

1965-ben jelent meg a Berkeley-i University of California oktatója, LOTFI A ZADEH FUZZY SETS című munkája, mely a fuzzy logika kezdetének bizonyult. Az új logika nevének kiválasztásakor több jelző is felmerült számára, mint például „soft” (lágú), „unsharp” (életlen), „blurred” (elmosódott) és „elastic” (rugalmas), de végül a fuzzy tűnt a legjellemzőbbnek [1]. Egyes magyar szakirodalmak a minősítő logikának is nevezik a matematika ezen ágát.

A fuzzy logika egy olyan sokértékű logika, mely egy következtetés eredményének megengedi a klasszikus logikában felvehető igaz {1} és hamis {0} közti — azaz a $[0; 1]$ zárt intervallumban definiált — bármely valós értéket.

A FUZZY HALMAZOK ÉS MŰVELETEK

A klasszikus logikával összekapcsolt Boole algebra pontosan definiált és éles határral rendelkező halmazokkal végzendő műveletekkel foglalkozik.

Vegyünk például egy B jelű paramétert, melynek értékeinek 3 és 4 között kell lennie, azaz:

$$3 \leq B \leq 4 \tag{1}$$

feltételt kell (kéne) kielégíteni.

De, mi van, ha ezt a B értéket valamilyen mérés eredményeként kapjuk? Pontatlan a műszer, a skáláról rosszul olvassuk le az értéket. Ekkor fog “elfuzzysodni” az (1) egyenlőtlenség kielégítésének igaz volta. Ugyanis — figyelembe véve a fenti tévedési lehetőségeket — a B értékének meghatározásában pontatlanság lép fel. Ezt a pontatlanságot — azaz a $3 \leq B \leq 4$ feltétel teljesítésének igaz voltának mértékét — a B jellemző $\mu(B)$ jelű tagsági függvényével tudjuk jellemezni. A tagsági függvény — követve a klasszikus logikát — csak a:

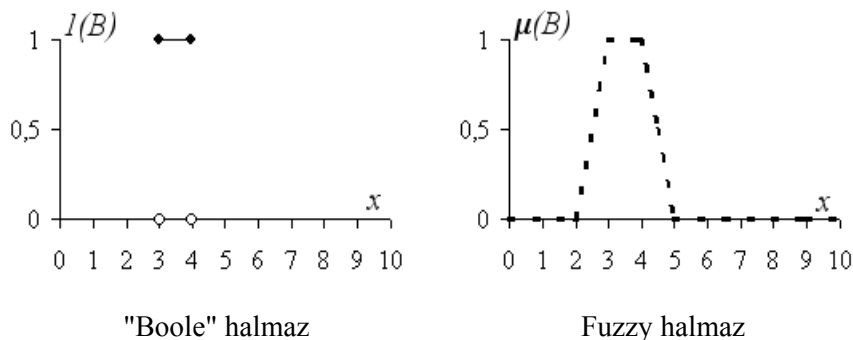
$$0 \leq \mu \leq 1 \tag{2}$$

értéket veheti fel.

Például, esetünkben ezt a pontatlanságot megadhatjuk az alábbi függvénnyel:

$$\mu(B) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq 2 \\ x-2 & \text{ha } 2 < x < 3 \\ 1 & \text{ha } 3 \leq x \leq 4 \\ 5-x & \text{ha } 4 < x < 5 \\ 0 & \text{ha } 9 \leq x \end{cases} .$$

(3)



1. ábra
Boole és fuzzy halmazok összehasonlítása

Természetesen a tagsági függvény megadására nem csak lineáris egyenletek alkalmazhatók.

L. A. ZADEH a Boole algebrában alkalmazott metszet helyett a MINIMUM OPERÁTOR-t; az unió helyett a MAXIMUM OPERÁTOR-t javasolta bevezetni, az 1. táblázat szerint. Fontos itt megjegyeznünk, hogy — ha már fuzzy (az eredeti

angol szó jelentése a spicces, ptyókos is) ez a logika — más, az alkalmazó által definiált fuzzy műveletek is használhatók.

Boole-algebrai művelet	Fuzzy művelet	
Metszet	Minimum	$\mu(A \cap B) = \text{MIN}(\mu(A), \mu(B))$
Unió	Maximum	$\mu(A \cup B) = \text{MAX}(\mu(A), \mu(B))$
Negáció	Negáció	$\mu(\bar{A}) = 1 - \mu(A)$

1. táblázat
Fuzzy műveletek

FUZZY RENDSZEREK MŰKÖDÉSE

Egy fuzzy logikai módszert alkalmazó döntéshozatali eljárás vagy fuzzy szabályzó rendszer lényegében az alábbi folyamatot hajtja végre. Ezek a rendszerek, folyamatok egy időben több logikai szabályt — úgynevezett szabálybázist — alkalmaznak. A szabálybázis sajátossága, hogy a logikai szabályok arisztotelészi logika szerinti megoldásai — egy időben — eltérő megoldásokat adhatnak. Lényegében ezen ellentmondást oldja fel a fuzzy logika alkalmazása [9].

Az első, **FUZZYFIKÁCIÓ** lépésben a rendszer konkrét értékekkel bíró bemenő jellemzőinek pillanatnyi értékeihez egy-egy fuzzy tagsági értéket rendelünk. Ekkor a (3) egyenlethez, illetve az 1. ábrához hasonló meghatározásokat alkalmazunk az input adatok pontatlanságainak, bizonytalanságainak jellemzésére.

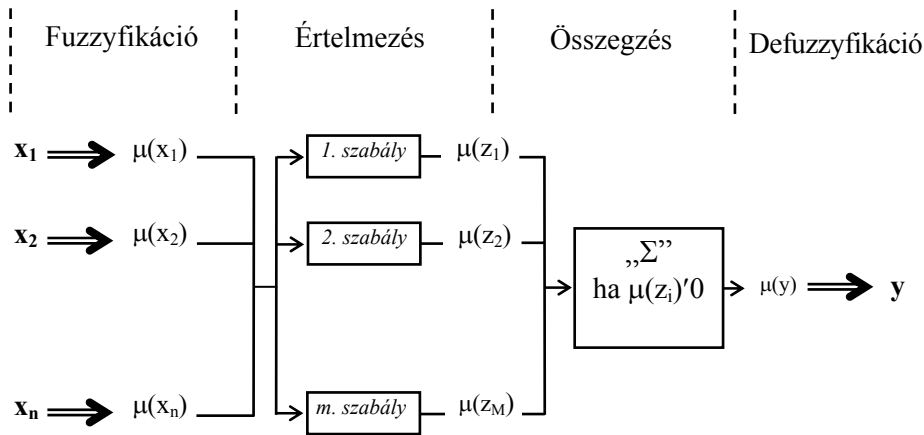
A következő az **ÉRTELMEZÉS** nevű szakasz. Ebben a lépésben az előzőleg meghatározott fuzzy értékek felhasználásával határozzuk meg az összes szabály alkalmazásának eredményeit. Ezeket a szabályokat a rendszer felállításakor kell meghatároznunk. Ekkor használják az 1. táblázatban bemutatott — vagy az adott rendszer felállítója által definiált — műveleteket.

Az **ÖSSZEGZÉS** lépésben az értelmezés során kapott nem zérus értékű eredmények összefűzése történik. Az összegzés során valamelyik, az 1. táblázatban szemléltetett fuzzy logikai műveletet alkalmazzuk a vizsgált vagy szabályozott folyamat sajátosságainak figyelembevételével.

A folyamat utolsó lépése az úgynevezett **DEFUZZYFIKÁCIÓ**. Ekkor a kimenő jellemzők igazság értékeit konvertáljuk vissza valós értékeké. A defuzzyfikáláshoz leggyakrabban a centroid eljárást alkalmazzák. Ennél a módszernél az egyes igazság értékekhez tartozó felületek súlypontja adja meg a ki-

meneti éles értéket. Az összegzéshez hasonlóan felhasználható más defuzzifikációs módszert is.

A folyamat főbb lépéseinek láncolatát szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra
Fuzzy rendszerben lejátszódó folyamat

A fenti módon meghatározott beavatkozás után egy fuzzy szabályzó rendszer újra megméri a szabályozott folyamat, technikai eszköz bemenő jellemzőit, majd ismét elvégzi a fenti fuzzy szabályzási folyamatot.

Fuzzy eszközt alkalmazó döntéshozatali eljárás esetén a fentiekben kidolgozott javaslat vagy javaslatok alapján hozza meg döntését az illetékes vezető. Újabb döntési helyzetben pedig ismét végre kell hajtani a döntés-előkészítő folyamatot az akkori aktuális bemeneti adatokkal.

FUZZY LOGIKA A REPÜLÉSBN

A korszerű repülőtechnikában, annak üzemeltetési folyamatában is már megjelentek az olyan különféle rendszerek, berendezések és módszerek, melyek valamilyen módon fuzzy logikai eszközöket alkalmaznak [7].

A [2] irodalom arról számol be, hogy milyen módon lehet növelni a repülőgép szárny mechanizációs, illetve kormányvezérlő rendszerének — és így a repülőgép hosszirányú mozgásának — stabilitását fuzzy logika alkalmazásával. A cikk szerzői matematikai modellvizsgálatokkal elemezték és bizonyították a

szabály-alapú fuzzy szabályzás előnyét a hagyományos szabályzórendszerrel szemben. A modellezett repülőgép állásszög szerint egy periodikusan dinamikus stabil állapotból egy (egyszer kismértékben túllengő) aperiodikusan stabilabb állapotba került.

A Varsói Műszaki Egyetem kutatói légi szállítási rendszerek kockázatának becslésére alkalmaznak fuzzy alapon működő szakértői módszereket, mutatnak be a [8] irodalomban. A kapott eredmények alapján előre becsülhető új technikák bevezetésekor várható kockázat, így még a rendszerbeállítása előtt kiválasztható az optimális üzemeltetési stratégia. A már üzemeltetett repülőtechnikai eszközök esetén a keletkező adatok, szakértői vélemények alapján becsülhető, pontosítható az üzemeltetési rendszer kockázati szintje. Így a pontosított adatok, eredmények alapján lehet meghozni az üzemeltetési folyamat optimalizálásához szükséges vezetői döntés. A fuzzy szakértői módszer felhasználásával prognosztizálhatjuk az üzemeltetés jövőbeli kockázatát — például a várható repülőharcászati, kiképzési és hadműveleti feladatok jellegének ismeretében.

A FUZZY LOGIKA ALKALMAZÁSA A DIAGNOSZTIKÁBAN

A repülőtechnika üzemeltetése során a legnagyobb mértékben talán a diagnosztika területén tudjuk felhasználni a fuzzy logikát, mint matematikai eszközt.

A műszaki életben már régen elterjedt módszer a hibák behatárolására az úgynevezett hibafa-elemzés. A hibafa-elemzés során egy feltételezett rendszerhibából (fő-eseményből) indulnak ki, és fokozatosan derítik fel azokat az alkotóelem vagy részrendszer meghibásodási lehetőségeket, melyek az adott esemény bekövetkezéséhez vezetnek vagy vezethetnek. Az áttekinthető munkát fastruktúrájú gráffal történő megjelenítés segíti, amit megbízhatósági számításokkal is ki lehet egészíteni.

Egy hibafa felállításának kiindulópontja mindig a fő-esemény. Első lépésben megvizsgáljuk, hogy a fő-esemény leírható-e egyetlen rendszerelem meghibásodásaként. Ilyenkor általában egy VAGY kapu következik három bemenettel (elsődleges, másodlagos és kezelési hiba). Egyébként meg kell keresnünk azon meghibásodásokat vagy meghibásodás láncolatokat, melyek egyenként vagy valamilyen összhatásra idézik elő a vizsgált fő-eseményt. Ezek megnevezése egy-egy megjegyzés téglalapban történik, majd logikailag összekapcsoljuk őket és megvizsgáljuk, hogy báziseseménnyel van-e dolgunk vagy az adott esemény a vizsgált részrendszer egy alkotóelemének meghibásodása miatt következett-e be.

Ily módon minden hibaeseményből egy különálló hibafaág keletkezik. A gyakorlatban az elsődleges hibákat nem szokták tovább kifejteni kivéve, ha a hibafa-analízist tisztán az okok elemzése céljából hajtjuk végre. Egy adott esemény bekövetkezésének okai között nincs mindig jelen mindhárom hibatípus. Egy hibafaág teljes kidolgozása után térhetünk át a következő ágra, és ezt hasonlóan folytatjuk a többi ág esetében is.

A hibafa kidolgozása után — az elemzés céljától függően — következik a rendszerhibák és hibaláncolatok minőségi és/vagy mennyiségi kiértékelése. Viszonylag egyszerű esetekben a kiértékelés kézzel papíron is történhet, azonban a bonyolultabb hibafák számítógép alkalmazását igénylik.

A hibafa analízis modellje fuzzy logikai eszközök alkalmazásával fejleszthető tovább, amikor a hibafa klasszikus logikai kapuihoz velük analóg fuzzy kapcsolatokat rendelünk. Ekkor a különféle tagsági értékek meghatározása jelenthet szakmai problémát.

A diagnosztikai, hibakeresési eljárások kidolgozása esetén ez a feladat a szakemberek kikérdezésével oldható meg. Fontos megjegyezni, hogy még a minimális rutinnal rendelkező szakember is jelentős mérvű tapasztalattal rendelkezik, de ennek számszerűsítése igen nehéz feladatot jelent. Ez szakértői riportok, felmérések elvégzésével és kiértékelésével oldható meg. (Jelen sorok írója ilyen felmérést végzett kandidátusi dolgozatának készítésekor a helikopterek megengedhető fékhatás-csökkenésének, illetve fék-aszimmetriájának meghatározására [6]). A szakértők kikérdezésével kapjuk meg a fuzzy-alapú hibakereső rendszer kiinduló adatait. Mivel ezek a szakértői vélemények egyéni tapasztalatok kiértékeléséből származnak, jelentős objektivitással bírnak. Ezért nem lehet ezeket „teljesen objektív” adatokként kezelni — de, fuzzy tagsági értékeknek tekinthetők.

A részegységek meghibásodásainak fentiekben meghatározott tagsági értékei alapján tudjuk meghatározni a hibafa elágazásainál választandó utat további elemzésének sorrendjét. A fenti tagsági értékek a rendszer alkalmazásakor az üzemeltetés során feltárt meghibásodások okainak ismerete alapján tudjuk pontosítani, naprakésszé tenni a szakértői rendszert.

Az [5] irodalom az olasz ALENIA AEROSPAZIO-nál kifejlesztett ADAM (AIRCRAFT DIAGNOSTIC AND MAINTENANCE) projekt keretében kifejlesztett szoftvert mutat be, amely a fentiekben bemutatott elven működik.

ZÁRÓGONDOLATOK

Jelen cikk a lehetőségek figyelembevételével egy rövid képet adott a fuzzy logikáról és annak alkalmazási lehetőségeiről a repülőtechnikák üzemeltetése területén. Az ismertett témakörrel kapcsolatban a szerző jövőbeni tudományos tevé-

kenysége során az alábbi feladatok megoldását tervezi:

- a fuzzy logika mélyebb megismerése;
- a fuzzy logika alkalmazási területeinek meghatározása a repülő-, illetve a haditechnikai eszközök műszaki menedzsmentjében;
- a fuzzy logikán alapuló diagnosztikai, hibafeltáró rendszerek felállítása elméleti alapjainak és módszertanának kidolgozása;

valamint a fenti eszközök alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a Magyar Honvédségen belül.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BLAIR, B., Creator of Fuzzy Logic — Interview with Lotfi Zadeh, Azerbaijan International, Winter 1994 (2.4).
- [2] BOUSSON, K., PAGLIONE, P., Fuzzy Stability Augmentation System for Aircraft Handling Qualities, Proceedings of the 21st ICAS Congress, Melbourne, 1998 (CD version).
- [3] BRULE, I.F., Fuzzy Systems — A Tutorial, <http://austinlinks.com/Fuzzy/tutorial.html>.
- [4] EYSENCK, M.W., KEANE, M.T., Kognitív pszichológia, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1997.
- [5] GIRARDELLI, E., DIDÓ, F., Diagnostic from System Models: The Adam System Approach, Proceedings of the 21st ICAS Congress, Melbourne, 1998 (CD version).
- [6] POKORÁDI, L., Repülőgép üzemeltetési folyamatainak Markovi modellje, kandidátusi értekezés, MTA DT, 1996.
- [7] POKORÁDI, L., Kockázatbecslési módszerek és technikák a repülésben, The Challenge of Next Millennium of Hungarian Aeronautical Sciences, Budapest, 1999., p. 66-77.
- [8] SMALKO, Z., JAZWIŃSKI, J., ŻUREK, J., Application of Expert Methods to Risk Assessment of Air Transport Systems, Proceedings of the 21st ICAS Congress, Melbourne, 1998 (CD version).
- [9] Számítógépes szimuláció, Rendszerek szimulációja Fuzzy halmazokkal, http://www.rit.bme.hu/letoltheto/szamszim/F_4/
- [10] VÁNCSA, J., Fuzzy Reasoning Applied to Military-Related Decision Support, Bulletin for Applied and Computer Mathematics (megjelenés alatt)
- [11] ZSIGMONDI, A fuzzy és az információk szelektív dekódolása, Pszichológia, 1999/4, p. 381-415.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk megjelenését az Oktatási Minisztérium Széchenyi Professzori Ösztöndíjjal támogatta, amelyet a szerző ezúton köszön meg.

Nowadays the modern equipment and decision-making methods use fuzzy tools, control and expert systems more and more widely. The fuzzy logic "was born" in 1965, as a fruit of LOFTI ZADEH's scientific work. This paper shows the historical and theoretical backgrounds of the fuzzy logic. Its usage in field of aircraft operation is shown by few short examples.