

Fuzzy következtető rendszerek alkalmazása mobil hálózatok felügyeletében

KÓCZY T. LÁSZLÓ, BOTZHEIM JÁNOS, SALLAI RICHÁRD, CSÁNYI KORNÉL
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

KUTI TAMÁS
Linecom Kft.

Lektorált

Kulcsszavak: mobil hálózatok, felügyeleti rendszerek, intelligens módszerek, fuzzy logika

Mobil szolgáltatást megvalósító mikrohullámú hálózatok esetében a vételi szintet befolyásolják az adó- és a vevőállomás közötti úgynevezett Fresnel-zónába bekerült akadályok. Ezek az akadályok lehetnek ideiglenesen vagy véglegesen az adott zónába került mesterséges vagy természeti tárgyak, vagy az éppen aktuális időjárás által meghatározott mennyiségű csapadék, illetve köd. A hálózatfelügyeleti rendszerbe célszerű olyan intelligens döntési alrendszer beépítése, amely a csillapítás mértékéből, illetve annak időfüggő viselkedéséből közvetlenül képes eldönteni, hogy a mi okozhatta a csillapítást. A cikk egy sikeresen befejezett NKFP K+F projekt keretében megvalósult hálózatfelügyeleti rendszer intelligens modulját ismerteti. Bemutatja az intelligens döntéstámogató rendszert és az ezt alkotó fuzzy logika alapjait és az időjárás helyzet automatikus identifikálására szolgáló alkalmazást.

1. Bevezetés

Mobil szolgáltatást megvalósító mikrohullámú hálózatok esetében közismert az a tény, hogy a vételi szintet erősen befolyásolják (csökkentik) az adó- és a vevőállomás között az úgynevezett Fresnel-zónába bekerült akadályok. Ezek lehetnek ideiglenesen vagy véglegesen az adott zónába került mesterséges vagy természeti tárgyak, vagy az éppen aktuális időjárás által meghatározott mennyiségű csapadék, illetve köd. A hálózatfelügyeleti rendszerbe célszerű olyan intelligens döntési alrendszer beépítése, amely a csillapítás mértékéből, illetve annak időfüggő viselkedéséből közvetlenül képes olyan következtetés meghozatalára, amely a csillapítás okát felismerve már a szükséges beavatkozásra ad javaslatot a hálózatfelügyeleti rendszer kezelői felületén. Jelen tanulmány egy sikeresen befejezett NKFP K+F projekt keretében megvalósult hálózatfelügyeleti rendszer modulját ismerteti. A modul keretében a felügyeleti rendszer által mért adási és vételi szint értékekből kiszámítható csillapítási értékek időbeli változása alapján a rendszer GUI felületén megjeleníti az intelligens döntési alrendszer által létrehozott következtetést. Írásunkban csupán egyetlen kérdésre fókuszálunk, a mérsékelt égövi kontinentális éghajlati zónában (nemzetközi szabványban rögzített módon) megjelenő különböző esőkategóriák intelligens felismerésére.

Csupán utalunk arra, hogy a következőkben konkrét példákkal bemutatott különböző riasztási szintek alapvetően kétféle jelenségcsoportra utalnak. Az első csoportba tartoznak a mikrohullámú állomások berendezéseinek hirtelen bekövetkező vagy a hosszabb idejű üzem során fokozatosan jelentkező hardver meghibásodásai vagy funkcióromlásai. Ezekben az esetekben természetesen karbantartói beavatkozást javasol a rendszer. A második csoportba tartoznak a Fresnel-zónába bekerült akadályok miatt bekövetkezett vételi szint csök-

kenések. Jellemző példa erre a városi környezetben egy háztetőre szerelt poszter felállítás, ami két állomás között az átvitel minőségét jelentős mértékben ronthatja. Ebben az esetben egészen más jellegű beavatkozásra van szükség, adott esetben akár az adó és/vagy a vevő helyének a megváltoztatására is szükség lehet. Másik példa erre a jelenségre rurál környezetben az adó és a vevő között elhelyezkedő erdősáv tavaszi kilombosodása. Ezt a jelenséget például az adóteljesítmény éves ciklus szerinti automatikus utánállításával lehet kompenzálni. E két példa egyébként a mesterséges és természetes terepakadályra is egy-egy illusztráció.

Az általunk vizsgált esetek azonban az időjárás jelenségek körébe tartoznak. Az esőzésből adódó fading elkülönítése a különböző terepakadályok okozta csillapítástól az egy körzetben egyidejűleg irányfüggetlenül jelentkező vételi szint csökkenés révén történhet meg. Megjegyezzük, hogy e két jelenségcsoport kombinált hatást is eredményezhet, az adó és a vevőállomás között elhelyezkedő lombos erdősáv esőzés idején, sőt azt követően még hosszabb ideig, igen erős anizotrop fadinget okozhat a leveleken található vízcseppek miatt. E levelek ugyanis megannyi apró hullám-visszaverő tükörként működnek.

A következőkben az intelligens döntés meghozatalára alkalmazott számítási intelligencia módszer háttéréről ejtünk néhány szót, majd a fuzzy rendszerek alapjait tárgyaljuk. Ezután röviden ismertetjük a hierarchikus fuzzy rendszereket, végül pedig a mobil hálózat felügyeletében alkalmazott fuzzy rendszert mutatjuk be.

2. A fuzzy rendszerek alapjai

Az emberi gondolkodásmód és bizonyos jelenségek nem írhatóak le pontosan a kétértékű logikával. Régebben felmerült már a kétértékű logika kiterjesztésé-

nek az igénye, hogy ne csak igaz és hamis logikai értékeket használjunk, hanem lehetőség legyen átmenetek definiálására. Sok olyan állítás van, amelyekről nem lehet élesen eldönteni, hogy igaz-e vagy hamis, hanem csak valamilyen mértéket lehet mondani az igazságtartalmáról. Ez a gondolat vezette el a '60-as években L. A. Zadeh-t a fuzzy logika megalkotásához [2].

Ma még a számítógépekben és az élet számos területén a kétértékű logika terjedt el. Nyilvánvalóvá vált azonban, hogy ha intelligensebb eszközöket szeretnénk létrehozni, akkor jobb eredményt érhetünk el úgy, ha az emberi logikához jobban közelítő módon írjuk le a rendszerek viselkedését.

A fuzzy logika a hagyományos logika kiterjesztése. A fuzzy logikai változó a 0 és az 1 érték között tetszőleges értéket felvehet, a 0 jelöli a „teljesen hamis” állítást, az 1 pedig a „teljesen igazat”. Ilyen értelemben a 0.5 körüli érték jelképezi a „félíg igazat”, például a 0.9 a „majdnem igazat”. A hagyományos logikai műveletek is kiterjeszthetők fuzzy logikára. A fuzzy logika segítségével definiálhatunk fuzzy halmazokat, fuzzy szabályokat és következtető rendszereket is létrehozhatunk. Az alábbiakban összefoglalt alapfogalmakkal kapcsolatban részletesebb leírást ad [1].

2.1. Fuzzy halmazok

Az A fuzzy halmazt az úgynevezett tagsági függvénnyel adhatjuk meg. A tagsági függvény minden egyes x alaphalmazbeli értékhez egy a $[0, 1]$ intervallumból vett értéket rendel aszerint, hogy az adott x érték mekkora mértékben eleme (tagja) az A fuzzy halmaznak:

$$\mu_A : X \rightarrow [0, 1],$$

ahol μ_A az A fuzzy halmaz tagsági függvénye, mely egyértelműen megadja a halmazt. Különböző alakú tagsági függvényeket szokás definiálni. Leginkább a háromszög, a trapéz és a Gauss-görbe alakú tagsági függvények terjedtek el.

Az 1. ábrán csillapítási értékeket láthatunk fuzzy halmazokkal leírva. Három kategóriát különböztethetünk meg, az „enyhe”, „közepes” és „nagy” csillapítást jellemző fuzzy halmazokat.

A tagsági függvények a példában trapéz alakúak.

A hagyományos halmazelméletben értelmezett három alapműveletet végtelen sokféleképpen lehet általánosítani a fuzzy halmazok elméletére. A legelterjedtebbek a klasszikusnak számító Zadeh-féle definíciók [2], de számos előnye van az úgynevezett algebrai műveleteknek is.

Egy X alaphalmazon értelmezett A fuzzy halmaz Zadeh-féle komplemente \bar{A} , ahol minden $x \in X$ értékre:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x).$$

A és B fuzzy halmazok Zadeh-metszete:

$$\mu_{A \cap B}^Z(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)),$$

Zadeh-uniója pedig:

$$\mu_{A \cup B}^Z(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

Az algebrai metszetet a

$$\mu_{A \cap B}^I(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x),$$

míg az unió a

$$\mu_{A \cup B}^I(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$$

összefüggés szerint számolható.

2.2. Fuzzy szabályok

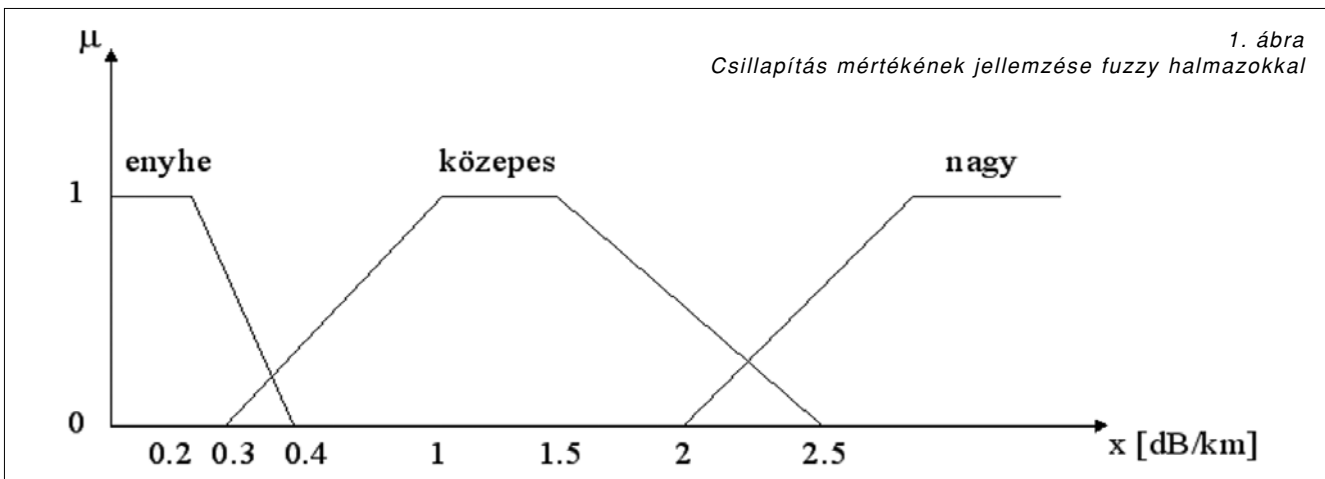
A fuzzy halmazok segítségével természetes emberi nyelven könnyen tudunk szabályokat megfogalmazni. Egy távfelügyeleti rendszerben például mondhatunk egy olyan szabályt, hogy „Ha a vételi szint csökkenés enyhe és az eltelt idő rövid, akkor gyenge esőzés van”. Ha ezután definiáljuk az „enyhe”, „rövid” és „gyenge” tagsági függvényeket, akkor fuzzy szabályhoz jutunk. Egy egybemenetű, egykimenetű egyszerű fuzzy szabály alakja:

$$R : \text{Ha } x = A \text{ akkor } y = B,$$

ahol $x \in X$ a bemeneti változó, $y \in Y$ a kimeneti változó, X a bemeneti változó alaphalmaza, Y a kimeneti változó alaphalmaza. A és B nyelvi változók. Az A az R szabály antecedense (premisszája), a B pedig az R szabály konzekvensze (konklúziója). Több bemenetű, egykimenetű fuzzy szabály általános, úgynevezett Mamdani-féle (ortogonálisan dekomponált) alakja [3]:

$$R : \text{Ha } x_1=A_1 \text{ és } \dots \text{ és } x_n=A_n \text{ akkor } y = B,$$

ahol $x=(x_1, \dots, x_n)$ a bemeneti értékek vektora, $x_j \in X_j$, $X=X_1 \times \dots \times X_n$ az n -dimenziós alaphalmaz, $A=(A_1, \dots, A_n)$ az antecedens halmazok vektora, $A \subset X$, $y \in Y$ a kimeneti változó, Y a kimeneti változó alaphalmaza, B a konzekvens halmaz, $B \subset Y$.

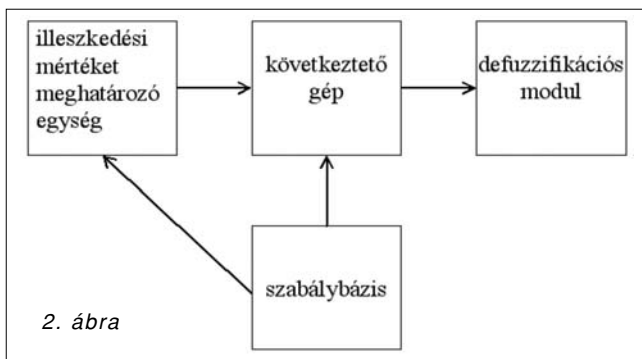


1. ábra
Csillapítás mértékének jellemzése fuzzy halmazokkal

A \tilde{C} jel fuzzy részhalmazt jelent. A szabály alkalmazásának feltétele, hogy az összes bemeneti változó pozitív mértékben essék a megfelelő antecedens halmazba. Több kimenetű szabályok esetén a kimenetek függetlenek egymástól, ezért az ilyen szabályok dekomponálhatók a fentivel megegyező alakú egykimenetűre, csökkentve ezzel a számítási igényt. Szokásos néha a fuzzy szabályt implikációként is interpretálni, például egybemenetű esetben : $R : A \rightarrow B$ formában, a következőkben azonban a Mamdani-féle függvényszerű interpretációt fogjuk alkalmazni.

2.3. Fuzzy következtető rendszer

A fuzzy halmazok elméletét felhasználhatjuk bonyolult, analitikus módon nem modellezhető rendszerek kezelhető leírására. Fuzzy szabályok segítségével az emberi gondolkodáshoz hasonlító funkciót ellátó következtető rendszereket hozhatunk létre. A fuzzy rendszer vázlata a 2. ábrán látható.



2. ábra

Az illeszkedési mértéket meghatározó egység a megfigyelést hasonlítja össze a szabályok feltételrészével. Ennek alapján a következtető gép valamilyen következtetési algoritmussal meghatározza a kimeneti fuzzy halmazt. Többféle következtetési módszer ismert, gyakorlati alkalmazásokban legelterjedtebb a Mamdani-módszer [3]. A kimenetet defuzzifikációs egységgel alakítjuk át éles, úgynevezett „crisp” értékre. A 3. ábrán a Mamdani-féle következtetési algoritmust szemléltetjük.

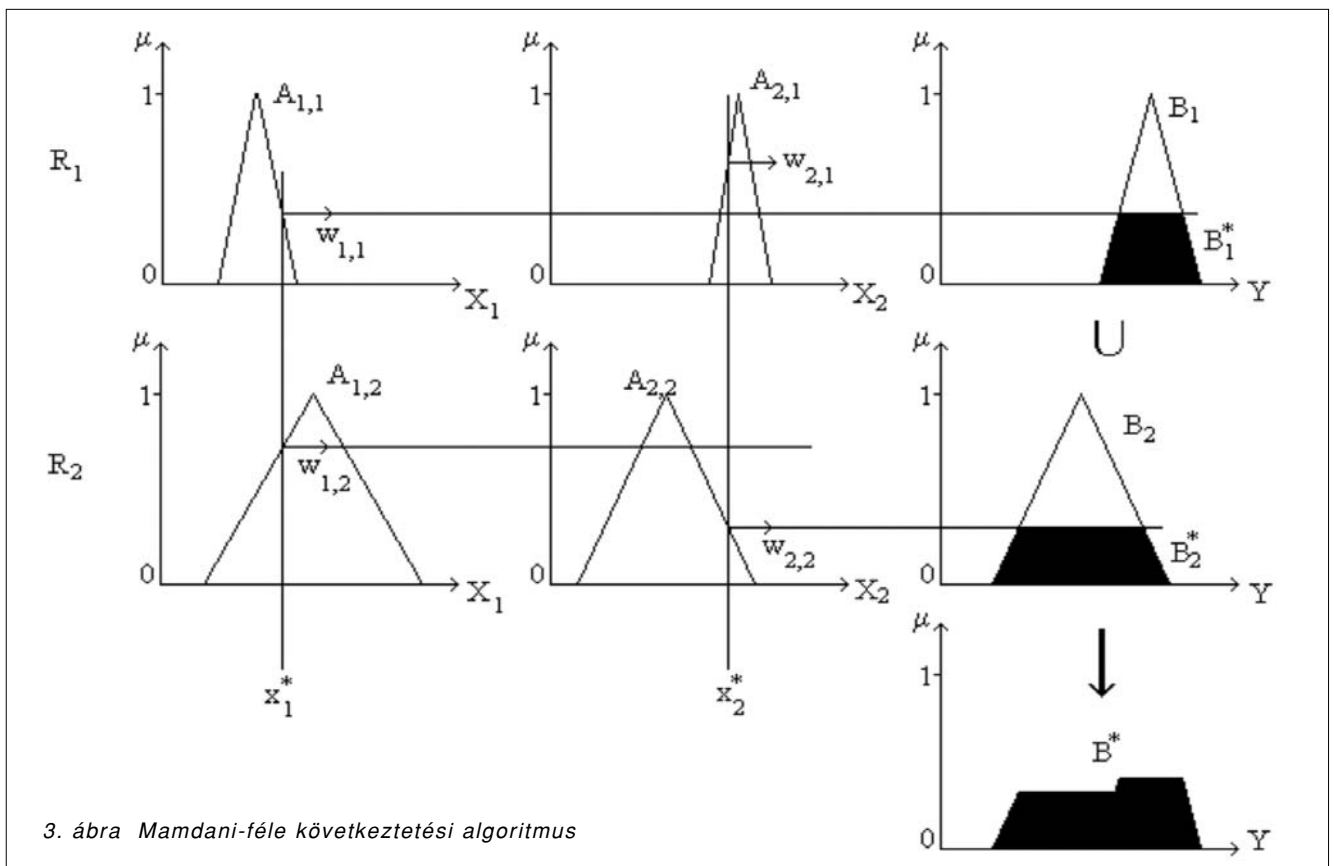
A következtetés elején meghatározzuk, hogy az adott bemenet mennyire illeszkedik a szabályokra. A megfigyelésvektor minden egyes elemét összehasonlítjuk mindegyik szabály feltételrészének ugyanezen komponensével. Legyen A^* az n -dimenziós megfigyelésvektor. Az illeszkedési (tüzelési) mérték a j . dimenzióban az i . szabályban:

$$w_{j,i} = \max_{x_j} \{ \min \{ A_{j,i}^*(x_j), A_{j,i}(x_j) \} \}$$

ahol $A_{j,i}$ az i . szabály j . dimenziójának tagsági függvénye. Ha a megfigyelés éles (crisp) vektor, akkor a fenti összefüggés a következőre egyszerűsödik: x^* állapot (helyzet-) vektor esetén, a j . dimenzióban az illeszkedés mértéke:

$$w_{j,i} = A_{j,i}(x_j^*).$$

Miután minden dimenzióban meghatároztuk az illeszkedés mértékét, kiszámítjuk az eredőt az egész antecedensre vonatkozóan is. Egy szabály alkalmazhatóságának (érvényességének) mértékét ugyanis antecedense minden egyes dimenziójának illeszkedési mértéke befolyásolja. Egy R_i szabály tüzelési mértéke a szabály antecedensei illeszkedési mértékeinek a minimuma lesz:



3. ábra Mamdani-féle következtetési algoritmus

$$w_i = \min_{j=1}^n w_{ji}$$

w_i értéke azt adja meg, hogy az R_i szabály mekkora mértékben befolyásolja a következmény előállítását az A^* megfigyelés esetén.

Miután egy megfigyelésre minden egyes R_i szabályhoz meghatároztuk annak w_i tüzelési súlyát, előállítjuk a szabályhoz tartozó következtetést. Ez a szabály konzekvensének w_i -vel való „csonkolásával” (azaz halmazmetszetével) történik.

A szabályhoz tartozó következtetés:

$$B_i^* = \min(w_i, B_i(y))$$

A teljes szabálybázishoz tartozó következtetést az így kapott B_i^* következtetések uniójaként állítjuk elő:

$$B^*(y) = \max_{i=1}^r B_i^*(y)$$

A következtetés eredőjeként a $B^*(y)$ fuzzy következményhalmazt kapjuk. Legtöbbször azonban egy rendszer kimeneteként nem fuzzy halmazt várunk, hanem éles értéket, mely konkrétan megadja a beavatkozás mértékét vagy módját. Tehát meghatározzuk azt az éles kimenetet, amely legjobban jellemzi a következtető gép által eredményezett fuzzy halmazt. Ez az eljárás a defuzzifikáció, melyre számos módszer ismert az irodalomban. A jelen alkalmazásban a súlypont alapú (COG) defuzzifikációs módszert választjuk, melynek alkalmazása a gyakorlatban a legelterjedtebb:

$$y_{COG} = \frac{\sum_{i=1}^r \int_{y \in B_i^*} B_i^*(y) y dy}{\sum_{i=1}^r \int_{y \in B_i^*} B_i^*(y) dy}$$

3. Hierarchikus fuzzy rendszerek

Az 1990-es évek elejétől különböző területeken vezettek sikerre a korábban alkalmazott „hagyományos” fuzzy rendszerekhez képest több hierarchikus szintbe strukturált újfajta fuzzy modellek.

Kiemelkedő ezek között Sugeno pilóta nélküli helikopter kísérlete, mely azóta tényleges alkalmazásba is került [4]. E rendszerek közös jellemzője, hogy a szükséges állapotváltozók száma viszonylag magas (mindenesetre 10 feletti), valamint az, hogy a vizsgált rendszer viselkedése értelemszerűen strukturálható, valamely alapváltozók szerint lokális modellek összességére bomlik, és e lokális modellek külön-külön csökkentett számú változót alkalmaznak. A helikopternél ezt a természetes struktúrát a különböző repülési manőverek összessége adja, melyeknél más és más állapotváltozó-részhalmaz a jellemző. A pilóta ennek megfelelően mindig csak a műszerek egy részhalmazát figyelve vezeti a gépet.

A bonyolult rendszerek nagy többségénél azonban egy ilyen természetes struktúra nem adott, vagy tiszta formában nem is létezik. Gyakran megjelölhető azonban olyan részmodellek, amelyek lokálisan csökkentett változószámmal jellemezhetők, nem alkotnak azonban teljes partíciót. Természetesen ez a részmodell az állapotér különböző régióiban más és más lehet. Ha a lo-

kális változórészhalmazok ismertek, a teljes állapotteret partitionáljuk, és minden egyes résztérhez lokális modellt készítünk. Szerencsés esetben a lokális rendszerek lényegesen kevesebb változót használnak, és így az összesített szabályszám is jelentősen csökkenhet. A helikopteres példánál maradva, más változók dominálnak az „emelkedés”, és megint mások például az „előre repülés” vagy a „helyben lebegés” művelete közben [4].

Minden lokális modellhez egy *alszabálybázis* tartozik. A felső, úgynevezett *metaszinten* először – a megfigyelés környezete vagy a rendszer előírt reakciója alapján – a megfelelő alszabálybázis kiválasztására kerül sor. Ezt a lépést úgynevezett *metaszabályok* határozzák meg, amelyek bizonyos, a lokális modelleket lényegében elkülönítő változók értéke alapján, vagy speciálisan a rendszer lokális működését szabályozó változók értéke alapján választják ki a megfelelő lokális modellt.

Lehetőség van több metaszint alkalmazására is, ilyenkor az egyes metaszintek a modell egyre pontosabb finomítását végzik és a kiválasztott állapotváltozókhoz tartozó lokális szabálybázis szerinti következtetés meghatározása a legalsó szinten történik.

Egy nagyon egyszerű hierarchikus szabálybázis például a következő lehet:

Metaszint (R_0):

Ha $x_1 = A_{11}$ és $x_2 = A_{21}$ akkor vegyük a D_1 tartományt

Ha $x_1 = A_{12}$ és $x_2 = A_{22}$ akkor vegyük a D_2 tartományt,

R_1 szabálybázis (a D_1 tartományhoz):

Ha $x_3 = A_{31}$ és $x_4 = A_{41}$ akkor $Y=B_1$

Ha $x_3 = A_{32}$ és $x_4 = A_{42}$ akkor $Y=B_2$,

R_2 szabálybázis (a D_2 tartományhoz):

Ha $x_5 = A_{51}$ akkor $Y=B_3$

Ha $x_5 = A_{52}$ akkor $Y=B_4$.

Ahogy ezen a példán is látszik, az eredetileg 5 változós szabályrendszer a változók lokális csoportosításával kisebb dimenziós alszabálybázisokra bontható, így az eredő „mélység” csak 4 változónyi ($\max\{2+2, 2+1\}$), ily módon az eredő komplexitás csökkent.

4. A fuzzy logika alkalmazása

Mint említettük, ebben a tanulmányban a fuzzy logikát egy projekt keretében megvalósult hálózatfelügyeleti rendszer egy moduljaként alkalmazzuk [5].

Olyan intelligens döntéstámogatási rendszert hoztunk létre, amelyet egy mobil hálózat felügyeletében alkalmazunk. A rendszer csapadék-jellemzőket határoz meg adott területen, a felügyelt távközlési hálózatban rendelkezésre álló adási/vételi jelszintek alapján. Ezen információk segítségével az operátor pontosabb képet kap a mikrohullámú távközlési hálózat tényleges állapotáról, és célszerű döntést hozhat a legjobb beavatkozásról.

A rendszer a döntéseket két bemenő paraméter alapján hozza meg, vételi jelszint csökkenése és eltelt idő alapján.

Az alkalmazás képes adatok fogadására a bázisállomásokról, amelyeket egy adatbázisban tárol a hozzátartozó időbélyeggel együtt. Meghatározott időnként végez egy körlekérdezést, és az új adatok régiekkel való összevetéséből meghatározza a jelszint változást és a hozzá tartozó időt, majd ezen információk alapján következtetést hoz létre.

A következtetés alapvetően kétféle csoportba sorolható. Az első kategóriába az időjárással kapcsolatos információk tartoznak, míg a másik esetben valamilyen egyéb riasztási következtetés történik. Az időjárási viszonyok ismerete több, a távközlési felügyeleti rendszer működésében bekövetkező változásra is magyarázatot adhat.

Ilyen esetekben az operátor erőforrásokat szabadíthat fel. Például, ha az operátor jelszintcsökkenést észlel és az intelligens döntéstámogató alrendszer képes meghatározni, hogy a riasztást időjárásváltozás vagy egyéb, beavatkozást igénylő probléma okozta. Az első esetben szükségtelen a műszaki személyzetet a helyszínre küldeni, így bevethetőek maradnak más technikai problémák megoldásában.

A jelszintváltozás és a csapadékmennyiség közötti összefüggés matematikailag a következőképpen számolható:

$$\gamma = kR^\alpha$$

ahol γ a jelszint csökkenése, R a csapadékmennyiség, k és α pedig különböző, elsősorban a használt frekvenciától függő paraméterek. Ennek az összefüggésnek az inverzét szeretnénk egy fuzzy modellel helyettesíteni, vagyis a γ jelszintcsökkenés alapján, figyelembe véve az azalatt eltelt időt, meghatározni az R csapadékmennyiséget.

Fuzzy szabálybázist használva finomabb módon tudjuk leírni a kapcsolatot a különböző változók között, mivel a szabályokban alkalmazott fuzzy halmazok nem éles határ szerint különítik el az egyes változók lehetséges értékeit, hanem az emberi gondolkodásmóddhoz hasonlóan, finom, fokozatos „fuzzy” átmenetek segítségével.

4.1. A fuzzy halmazok meghatározása

A fuzzy szabályrendszer állomáspáronként két bemeneti változót használ: a jelszint csökkenést és az eltelt időt.

A jelszint csökkenést hat kategóriába soroljuk:

- nagyon enyhe vételi szint csökkenés:
0 - 0.05 dB/km
- enyhe vételi szint csökkenés:
0.03 - 0.18 dB/km
- mérsékelt vételi szint csökkenés:
0.15 - 0.7 dB/km
- számottevő vételi szint csökkenés:
0.5 - 2.5 dB/km
- nagy vételi szint csökkenés:
1.8 - 5.5 dB/km
- nagyon nagy vételi szint csökkenés:
3.3 - 18 dB/km

A fuzzy halmazokat a fenti intervallumok felhasználásával határozzuk meg. Az intervallumok a fuzzy halmazok tartóit (pozitív tagsági értékű pontjait) jelentik.

A fuzzy halmazokat a 4. ábrán szemléltetjük. Megfigyelhető, hogy a fuzzy halmazok tartói részben átfednek, az egyes jelszint csökkenési osztályok között nem éles a határ.

Az eltelt időt négy kategóriába osztjuk: rövid, közepes, hosszú, nagyon hosszú. Ennek megfelelően a tartományok:

- rövid: 0 - 1 óra
- közepes: 0,5 - 4 óra
- hosszú: 3 óra - 4 nap
- nagyon hosszú: 3 nap - 1 év

A fuzzy halmazokat az előző változóhoz hasonlóan képezzük a tartományok alapján.

Az eltelt idő fuzzy halmazai az 5. ábrán láthatók. Itt is átlapolnak a tartók.

A fuzzy rendszer kimenete a csapadékmennyiséget tartalmazza. Ezeket az alábbi kategóriákba soroljuk:

- szitálás: 0 - 0,5 mm/óra
- gyenge esőzés: 0,25 - 1,75 mm/óra
- közepes esőzés: 1 - 7 mm/óra
- erős esőzés: 4 - 28 mm/óra
- záporosó: 16 - 54 mm/óra
- felhőszakadás: 35 - 150 mm/óra

Az ezek alapján meghatározott fuzzy halmazokat a 6. ábrán láthatjuk.

4.2. A fuzzy szabályok

A rendszer első bemeneti változóját hat fuzzy halmazzal írtuk le, a másodikat pedig négygel, ezért az összes lehetséges kombinációt 24 fuzzy szabállyal fedhetjük le. A szabályok kimenetében nem csak csapadékmennyiségek, hanem különféle nem időjárási hatásra utaló riasztástípusok is szerepelnek.

Az első bemenetet hatféle címkével jellemezhetjük. A jelszint csökkenés fokozatai A_i , ahol i értékei a következők:

- nagyon enyhe vételi szint csökkenés: 1
- enyhe vételi szint csökkenés: 2
- mérsékelt vételi szint csökkenés: 3
- számottevő vételi szint csökkenés: 4
- nagy vételi szint csökkenés: 5
- nagyon nagy vételi szint csökkenés: 6

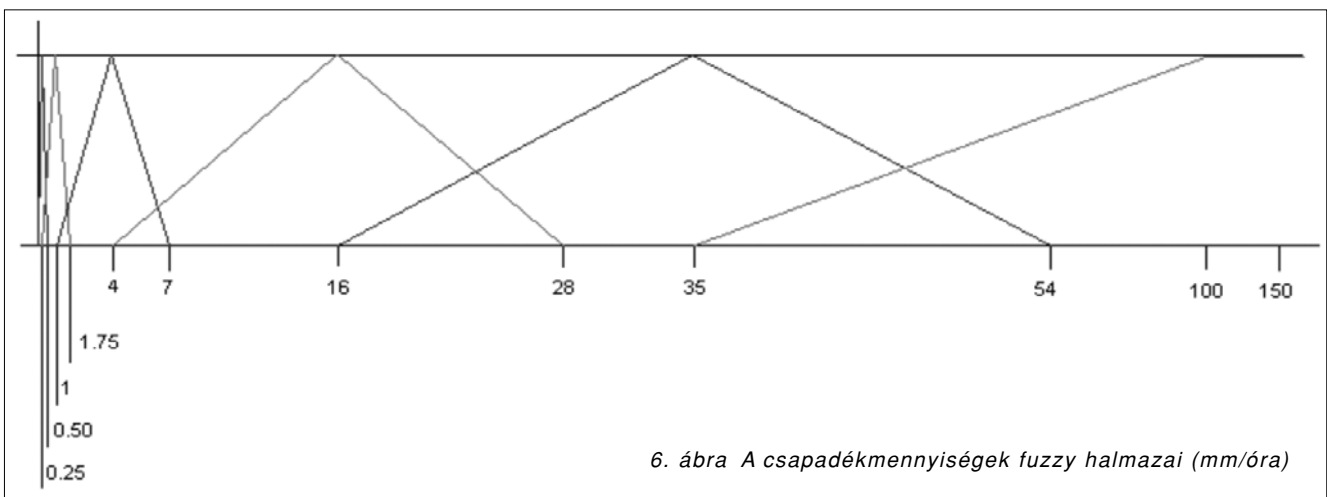
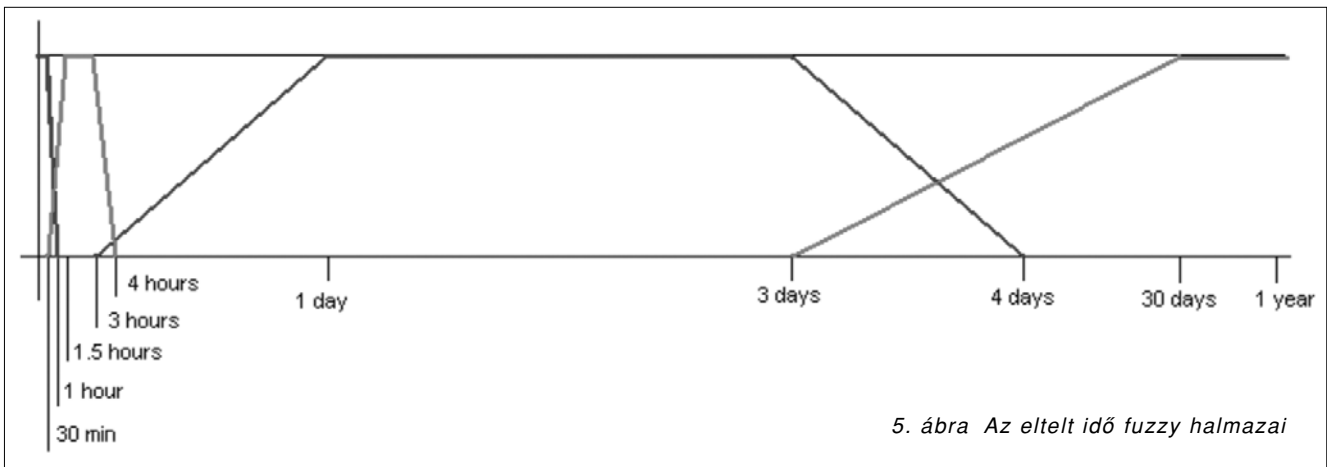
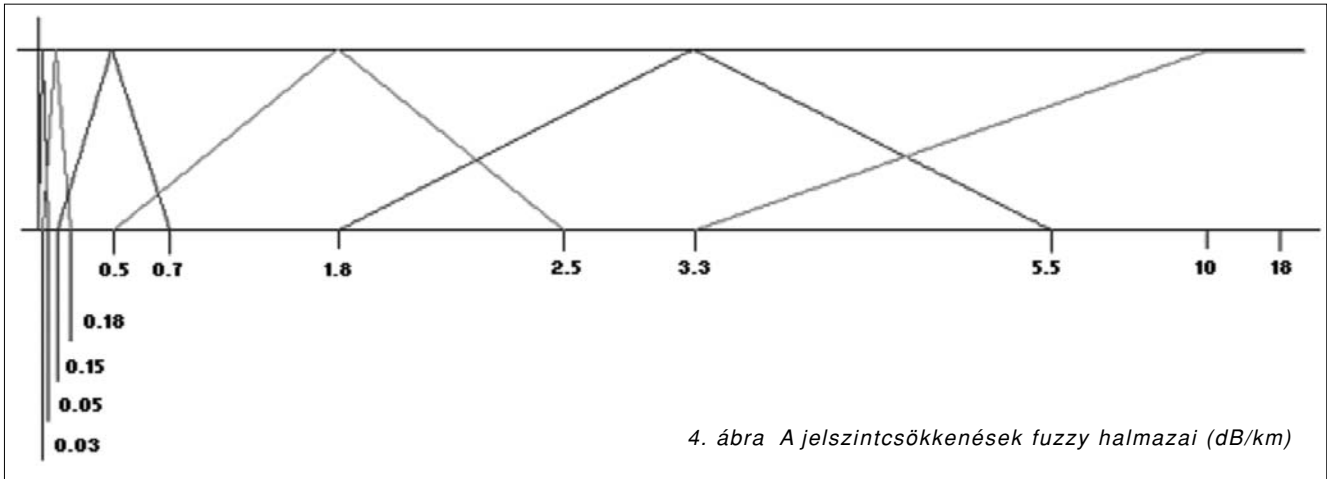
Az eltelt idő fokozatai T_i címkéssel jelölhetők, ahol i értékei a következők:

- rövid: 1
- közepes: 2
- hosszú: 3
- nagyon hosszú: 4

Fentiek alapján a következő szabályokat építettük fel:

- R1: Ha A_1 és T_1 akkor Szitálás
- R2: Ha A_1 és T_2 akkor Szitálás

- | | |
|---|--|
| R3: Ha A_1 és T_3 akkor Szitálás | R14: Ha A_4 és T_2 akkor Erős esőzés |
| R4: Ha A_1 és T_4 akkor Figyelmeztetés | R15: Ha A_4 és T_3 akkor Kis riasztás |
| R5: Ha A_2 és T_1 akkor Gyenge esőzés | R16: Ha A_4 és T_4 akkor Kis riasztás |
| R6: Ha A_2 és T_2 akkor Gyenge esőzés | R17: Ha A_5 és T_1 akkor Záporosó |
| R7: Ha A_2 és T_3 akkor Gyenge esőzés | R18: Ha A_5 és T_2 akkor Záporosó |
| R8: Ha A_2 és T_4 akkor Figyelmeztetés | R19: Ha A_5 és T_3 akkor Nagy riasztás |
| R9: Ha A_3 és T_1 akkor Közepes esőzés | R20: Ha A_5 és T_4 akkor Nagy riasztás |
| R10: Ha A_3 és T_2 akkor Közepes esőzés | R21: Ha A_6 és T_1 akkor Felhőszakadás |
| R11: Ha A_3 és T_3 akkor Közepes esőzés | R22: Ha A_6 és T_2 akkor Nagy riasztás |
| R12: Ha A_3 és T_4 akkor Kis riasztás | R23: Ha A_6 és T_3 akkor Nagy riasztás |
| R13: Ha A_4 és T_1 akkor Erős esőzés | R24: Ha A_6 és T_4 akkor Nagy riasztás |



4.3. A következtetés

A következtetés során először a szabályok illeszkedési mértékét határozzuk meg az aktuális megfigyelés és a szabályok antecedensrésze alapján. A szabályok két csoportra oszthatók a kimeneteik szerint. Amennyiben az illeszkedés mértéke olyan szabály(ok)nak a legnagyobb, amely(ek) riasztás(oka)t tartalmaz(nak), akkor a fuzzy rendszer olyan következtetést hoz, mely a legnagyobb illeszkedési mértékű riasztásos szabály kimenetével egyezik meg.

Ellenkező esetben, amikor a csapadék vonatkozó sű következtetést tartalmazó kimenetű szabályok illeszkedési mértéke nagyobb, akkor ezen szabályok illeszkedési mértékeikkel arányosan csonkolt konzekvens fuzzy halmazainak unióján COG defuzzifikációt hajtunk végre, vagyis a Mamdani-féle következtetést alkalmazzuk.

A fuzzy rendszer által adott következtetést térképen is megjeleníthetjük. A felrajzolt négyzetek színei utalnak az esőzés mértékére. A színek és az esőzés összerendelését láthatjuk az 1. táblázatban.

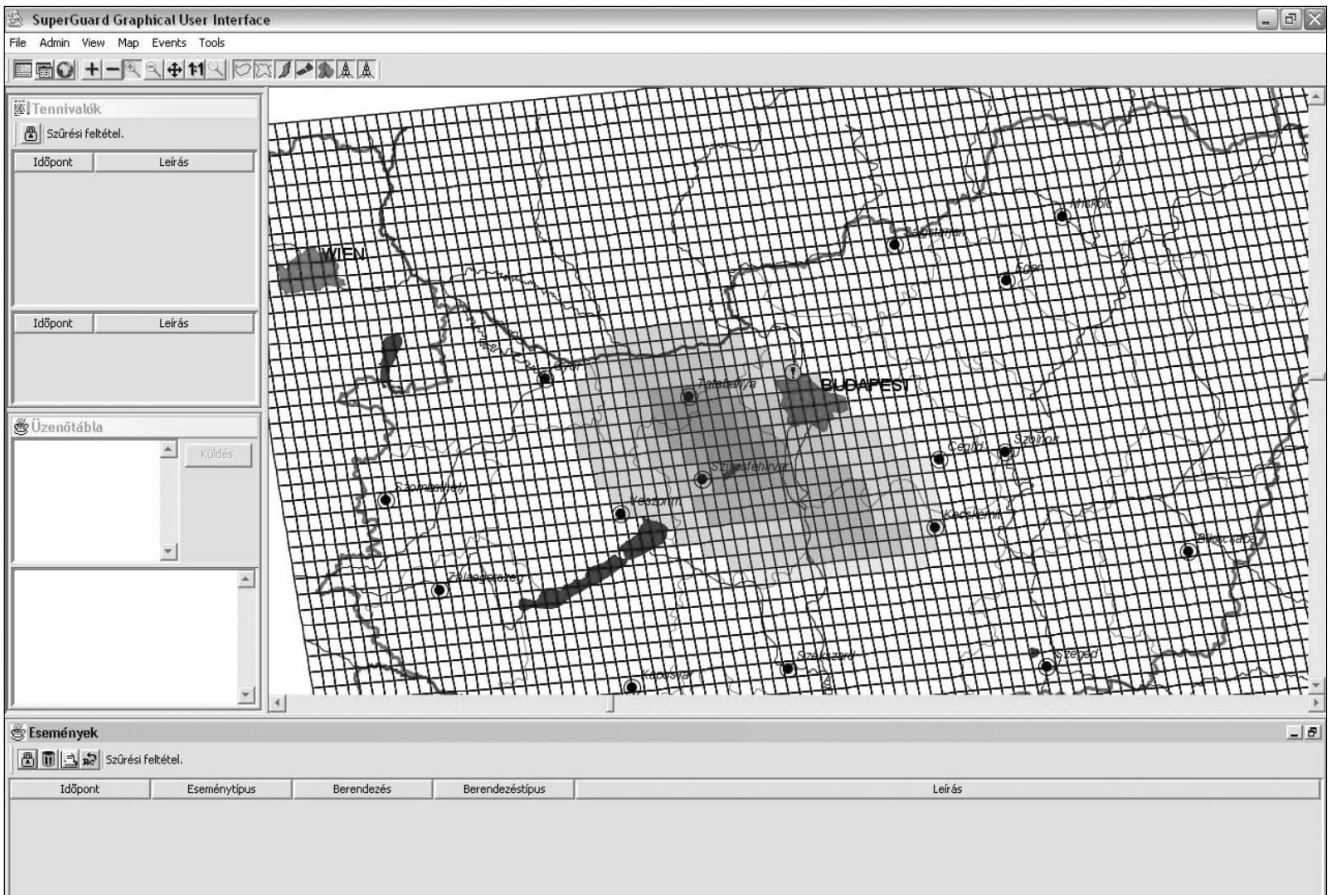
A hat csapadékkategórián kívül a riasztásokat is jellemezhetjük színekkel. Ezt látjuk a 2. táblázatban.




Végül a 7. ábrán a rendszer működését szemléltetjük egy térképes kezelői felületi képpel, melyet szimulált csapadék segítségével állítottunk elő. Magyarország térképét raszterhálózattal fedtük le, ily módon természetes, hierarchikus struktúrát adva a teljes rendszernek. Olyan területeken, ahol egy raszterelemen belül több állomás is található, átlagos viselkedést számí-

Szín	Csapadék típus	Szín kód
	Szitalás	1
	Gyenge esőzés	2
	Közepes esőzés	3
	Erős esőzés	4
	Zivatar	5
	Felhőszakadás	6

1. táblázat
Csapadék típusok és a hozzárendelt színek

tunk és jelenítünk meg, ahol pedig egy raszterelem esetleg üresen marad, interpolációval állítjuk elő a csapadék becsült értékét. A kék és lila színek a szimulációs adatok alapján a feltételezett csapadékmennyiséget mutatják.



Szín	Riasztás	Szín kód
	Figyelmeztetés (kék)	7
	Kis riasztás (sárga)	8
	Nagy riasztás (piros)	9

2. táblázat Riasztások és színeik

5. Összefoglalás és további tervek

A jelen tanulmányban a fuzzy rendszerek alapjait tekintettük át, kitértünk a hierarchikus fuzzy rendszerek megemlítésére és egy alkalmazási példát is bemutatunk. A fuzzy rendszer jól használható döntéstámogató eszközként olyan alkalmazásokban, amelyekben az emberi tudás fuzzy szabályok formájában egyszerűen reprezentálható. Jövőbeli tervünk, hogy kiterjesszük az intelligens döntéstámogató rendszert valódi hierarchikus fuzzy szabálybázisokat használó rendszerré, még egyszerűbben használhatóvá és finomabbá téve a modellt ezáltal.

Ugyanakkor megkeresést kaptunk egy hazai hálózat üzemeltetőtől az intelligens döntéstámogatási alrendszer saját felügyeleti rendszerükkel történő integrálása tárgyában. Így a jövőben tervezzük az éles üzembehelyezést is.

Irodalom

- [1] Kóczy T. L., Tikk D.:
Fuzzy rendszerek, Typotex, Budapest, 2000.
- [2] L. A. Zadeh:
Fuzzy sets. Information and Control, 8(3):338–353, 1965.
- [3] E. H. Mamdani and S. Assilian:
An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller.
Int. J. Man-Mach. Stud. Vol. 7:1–13, 1975.
- [4] M. Sugeno, M. F. Griffin, and A. Bastian:
Fuzzy hierarchical control of an unmanned helicopter.
In Proc. of the 5th IFSA World Congress (IFSA'93), pp.1262–1265., Seoul, 1993.
- [5] Üzemfelügyeleti rendszer mesterséges intelligenciával.
Projekt zárójelentés.
Projekt azonosító: NKFP-2/0015/2002.
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Távközlési és Médiainformatikai Tanszék,
konzorciumvezető, szakmai vezető: Dr. Kóczy T. László,
Linecom Kft., szakmai vezető: Veres Lajos.
2005. szeptember