

A fuzzy logika alkalmazása a gépjárműtechnikában 2. rész

Az utóbbi években a fuzzy logikán alapuló technikákat egyre szélesebb körben alkalmazzák az autóipar területén. Folyamatosan vizsgálják és fejlesztik pl. az automata váltókat, motorvezérlőket, blokkolásgátlókat, légszákvezérléseket és egyéb alkalmazástechnikai lehetőségeket. Már egyértelműen bizonyított, hogy ezeken a területeken jobb eredmények érhetők el, mint a hagyományos irányítási algoritmusokkal. A fentieknek köszönhető, hogy az autógyártók körében hatalmas az érdeklődés a fuzzy logika iránt, amely számos fontos termékfejlesztéshez vezetett.

Longitudinális vezérlés (folytatás)

A példánkban szereplő CC-rendszer fuzzy szabályait összefoglalva a következők írhatók:

HA Sebesség_Hiba TÖBB MINT nulla, AKKOR Gázpedál fel

HA Sebesség_Hiba KEVESEBB MINT nulla, AKKOR Gázpedál le

HA Gyorsulás TÖBB MINT nulla, AKKOR Gázpedál fel

HA Gyorsulás KEVESEBB MINT nulla, AKKOR Gázpedál le

Ezeket a szabályokat két szabállyá lehet kombinálni:

HA Sebesség_Hiba TÖBB MINT nulla VAGY gyorsulás TÖBB MINT nulla, AKKOR Gázpedál fel

HA Sebesség_Hiba KEVESEBB MINT nulla VAGY Gyorsulás KEVESEBB MINT nulla, AKKOR Gázpedál le

Sebesség_Hiba a vezérlés arányos alkotórésze, a Gyorsulás pedig a származék. Ez annyit jelent, amikor az autó sebessége nem kívánt érték, a Sebesség_Hiba beállítja a gázpedál-nyomóerőt, a Gyorsulás pedig egyenletessé teszi a parancs végrehajtását. A parancs végrehajtása mindig valamilyen súlyozással történik. Példaként legyen a következő: a „Sebesség_Hiba kisebb mint nulla” állítás fuzzysított értéke (jelenleg a μ) legyen pl.: 0,35, a „Gyorsulás több mint nulla” állítás legyen 0,75. Vagyis az előbbi szabályokból elegendő a következő kettő figyelembevétele:

HA Sebesség_Hiba KEVESEBB MINT nulla, AKKOR Gázpedál le.
HA Gyorsulás TÖBB MINT nulla, AKKOR Gázpedál fel.

A másik két szabály értéke nulla. A kimeneti fuzzy változó gyorsító két nyelvi címkét a FEL (TÁVOL) és LE (KÖZEL) az 1 és -1 reprezentálja. Ezzel a számított kimenet:

$$x_{ki} = \frac{0,35 \cdot fel + 0,75 \cdot le}{0,35 + 0,75} = \frac{0,35 \cdot 1 + 0,75 \cdot (-1)}{0,35 + 0,75} = -0,24$$

Ez azt jelenti, hogy az FLC a gyorsító alacsony szintű irányítójába kerül -1 ... +1 között normalizálva, ami jelenleg -0,24 értéket jelent. Vagyis a kimeneti fuzzy változónak numerikus értéke van.

Az ACC fuzzyval kiépített változatának működése az alábbi tárgyal CC fuzzy működésén alapul. Célja egy biztonságos távolság tartása az azonos sávban előrébb haladó járműtől. Vagyis ez a művelet az előttünk haladó jármű sebességéhez történő alkalmazkodást foglalja magába, amit az FLC-nek automatikusan kell végrehajtani, felülírva a CC előre beprogramozott, tartandó sebességét. Ez a funkció országúti konvojban haladásra alkalmazott módszer. Extrém eset, ha az elől haladó jármű megáll, akkor az ACC-vel felszerelt autónak is meg kell állnia. Ez az ún. Stop&Go. Így tehát a fuzzyval rendelkező ACC ezt a funkciót is ellátja.

A vezető által meghatározott távolság tartása az előző jármű sebességétől függő funkció. Például, ha 3 mp-es időrést állítunk be 50 km/óra sebességnél, a távolsági rés 41,17 m. Ugyanez a távolsági rés 100 km/óra sebesség mellett 83,3 m. Az időrés beállítása tehát függ az autófékertől, időjárési viszonyoktól, végsebességtől stb. A CC-hez képest az ACC-nél két új bemeneti változót kellett figyelembe venni. A

kimenet ugyanaz, mint a CC-nél. Az ACC-vizsgálódások fuzzy logikával új fogalmak létrehozását is megkövetelték:

- Követett autó az ACC-vel felszerelt autó előtt halad.
- Követő autó a sebességét a megelőző autónak igazítja.
- Idő_Rés_jelenleg: az idő, amely alatt a követő jármű eléri azt a pontot, ahol a követett jármű jelenleg tart.

$$IdQ_R\acute{e}s_{pillanatnyi} = \frac{x_{követett} - x_{követő}}{v_{követő}}$$

ahol: $x_{követett}$ és $x_{követő}$ járművek méterben meghatározott koordinátái, $v_{követő}$ a követő jármű sebessége m/s-ban.

- Idő_Rés_Cél: a felhasználó által beállított idő, amely az ACC által tartandó. Ez a kereskedelmi forgalomban lévő autónál 1...2 sec között szokott lenni.
- Idő_Rés_Deriváltja

A Gyorsítás egyenletessé tételéhez szükséges, vagyis a vezérlés finomítását jelenti:

$$d_IdQ_R\acute{e}s_i = \frac{IdQ_R\acute{e}s_i - IdQ_R\acute{e}s_{i-4}}{4 \cdot \Delta t}$$

Ez a változó nagyon bizonytalan, mert könnyen ingadozik, ezért elektronikus szűrőt használnak a változás csillapítására. A fuzzy logikával működő rendszer felépítése a 3. ábrán látható.

Az ACC-re vonatkozó fuzzy szabályok új formái, amelyek eltérnek a CC-szabályoktól:

HA Sebesség_Hiba TÖBB MINT nulla, AKKOR Gázpedál fel

HA Sebesség_Hiba KEVESEBB MINT nulla ÉS Idő_Rés_Hiba TÖBB MINT közel, AKKOR Gázpedál le

HA Gyorsulás TÖBB MINT nulla, AKKOR Gázpedál fel

HA Gyorsulás KEVESEBB MINT nulla ÉS Idő_Rés_Hiba távol, AKKOR Gázpedál le
HA Idő_Rés_Hiba közel ÉS d_Idő-Rés negatív, AKKOR Gázpedál fel

Ezeknek a bővített fuzzy szabályoknak az a célja, hogy fenntartsa a CC-t, ugyanakkor biztonságos távolságot tartson a követett járműtől. Ennek végrehajtására a részvezérlés csak akkor lép működésbe, ha a követő autó közel van a követetthez, más esetekben önmagát gátolja és hagyományos CC-vé válik. Másik jelentős szempont, hogy csak akkor alkalmazkodik a sebességhez, ha a követett jármű kezdetben lassabban halad, mint a követő. Vizsgáljuk meg részletesebben a módosított gyorsulási szabályokat:

HA Sebesség_Hiba KEVESEBB MINT nulla ÉS Idő_Rés_Hiba TÖBB MINT közel, AKKOR Gázpedál le

A gáz jele csökken, ha a követő autó közel van a követetthez, így soha nem gyorsul eléggé ahhoz, hogy összeütközzenek:

HA Gyorsulás KEVESEBB MINT nulla ÉS Idő_Rés_Hiba távol, AKKOR Gázpedál le
Ez a szabály csak akkor engedi működni a gázpedált, ha a követő autó távol van a követettől:

HA Idő_Rés_Hiba közel ÉS d_Idő-Rés negatív, AKKOR Gázpedál fel

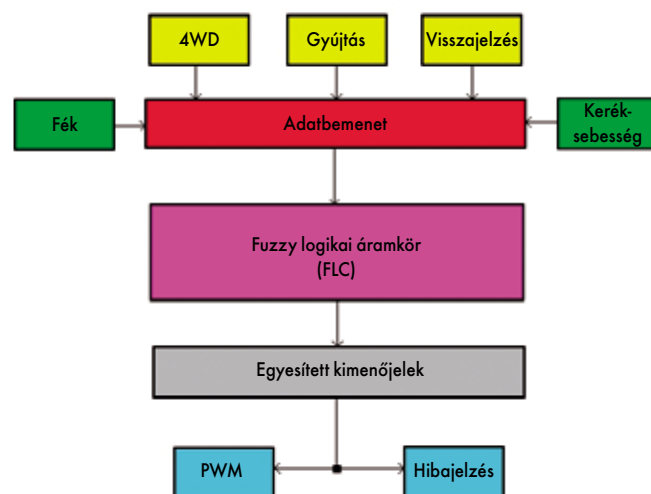
Ezzel a szabállyal a vezérlő „lép” a gázpedálról, amikor közel van a biztonságos távolság.

Alkalmazás az ABS területén

A fuzzy logikán alapuló blokkolásgátlónak jóval összetettebb kialakításra van

szüksége, mint egyszerű „ha-akkor” kapcsolat. Az ilyen irányítási rendszerekben az inputváltozók közvetlenül határozzák meg az outputváltozókat. Az ilyen egyszerű meghatározás nem biztosít elegendő rugalmasságot az olyan összetettebb rendszerek kódolásához, mint pl. az ABS, ugyanakkor más komplexebb technikák elérhetőek, amelyek alkal-

mazhatóak a fuzzy logikai rendszerekre, amelyekbe memória is beépítésre kerül. Ezekkel a konstrukciókkal pl. megalkothatók olyan szabályok, mint pl.: „Ha a jármű kerekei lassan forognak és korábban a jármű sebessége nagy volt, akkor csökkenteni kell a hátsó féknyomást.” Pl. ilyen és hasonló szabályok létrehozása vezetett el a fuzzy logika alkalmazására az ABS-konstrukciók kialakításában. De Von Altroch bemutatott számos autós alkalmazást, amelyek már beintegrálódtak az FLC-be, ezzel továbbfejlesztve a konvekcionális rendszereket. Azt is bemutatja, hogy a fuzzy és a konvekcionális rendszerek hogyan egészítik ki egymást, amelynek során kialakítható olyan ABS, amely alkalmazkodik az út- és időjárási viszonyokhoz. A konvekcionális ABS olyan érzékelőket használ, amely felméri a kerekek sebességét, a fékhőmérsékletet és ellenőrzi a fékhengerek nyomását stb. Míg az autó fékrendszerének matema-



4. ábra

fékezés szempontjából, de megbecsüli az aktuális útfelület paramétereit is. A tapasztalatok azt bizonyítják, hogy mindez csak fuzzy logikával valósítható meg. Ekkor pl. a fuzzy azt is felismeri, ha a jármű havas útról jeges útra váltott a fékezés alatt (alig csúszik, csúszik, nagyon csúszik stb.). Von Altroch azt is bizonyította, hogy az FLC-technológia felhasználható a motorszabályozó rendszerekben, az automata fékváltóban és a csúszásgátló ASS- (Anti-skid Steering System) rendszerekben. De vegyünk egy konkrét példát az ABS egyfajta működtetésére. Legyen a bemeneti változó a fékhőmérséklet és a sebesség. A kimeneti változó a féknyomás, amely lehet pl. változatlan, kissé csökkentve, kissé növelve stb. állapottal leírva.

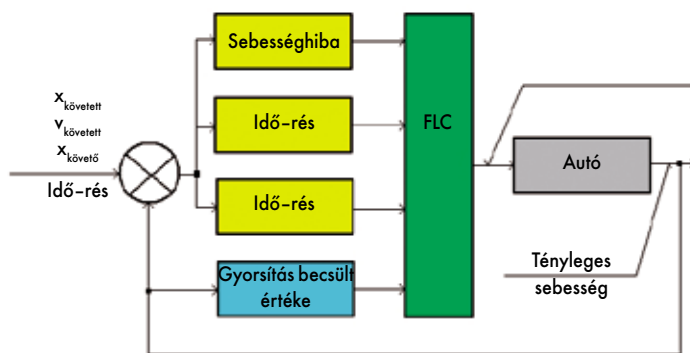
Ekkor érvényesek az alábbiak:

HA (fékhőmérséklet = meleg)

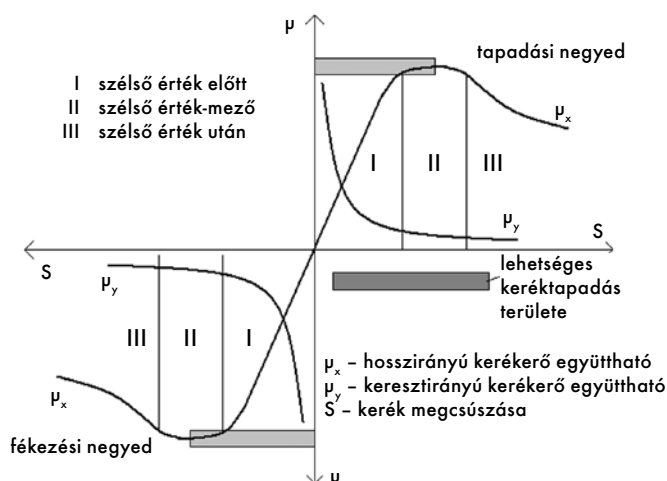
ÉS (sebesség = NEM nagyon gyors)

AKKOR (féknyomás = kissé csökkentve).

Az ABS-rendszerek nemlineárisak és dinamikusak, ezért is nagyon előnyös a fuzzy alkalmazása. A fékezési erő a kerékrendszerhez kapcsolódik, vagy a longitudinális sűrűlőds a jármű és a felszín között gyorsan nő. A kerék csúszása ilyen körülmények között nagyban függ attól a különbségtől, ami a jármű sebessége és a kerék sebessége között van egy bizonyos fékerő alkalmazása közben. A fékek azért lépnek működésbe, mert sűrűlőds lép fel a kicsúszás ellen. Minél nagyobb ez az érték, annál nagyobb fékerő jut a járműre az adott pillanatban. Ha tehát a fékerő meghatározása folyamatosan a felszín hasznos sűrűlődsi



3. ábra



5. ábra

együtthatója alapján történik, a fék akkor kezd el működni, amikor csökken a tapadás. Ekkor a fékerő gyakran vezethet teljes kerékblokkoláshoz. Mind matematikai, mind empirikus úton bizonyítható, hogy egy mozgásban lévő keréknek jobb a tapadása, mint egy csúszásban lévőnek. A fuzzy technikával működő ABS bemeneti jeleit a kerék sebességéből differenciálás útján határozzák meg. Az egyes kerekekből érkező jelekből minden kerékre számítható a gyorsulás. A fuzzy logikával működő rendszer dinamikájának kevésbé részletes ismeretében is optimalizálható. A hagyományos ABS-irányítási algoritmusoknak számolniuk kell a féknyomás nonlinearitásával, a változó hőmérséklet és fékfolyadék belső sűrűlődsének dinamikája miatt. Ugyanakkor az olyan külső zavaró hatásokkal is, mint a sűrűlődsi együttható és az út felszíni viszonyainak megváltozása, gumik típusával, illetve a rendszer elemeinek öregedésével. Ezek a tényezők növelik az algoritmus bonyolultságát, így egyre összetettebb azoknak a matematikai egyenleteknek a köre, amelyekkel az ABS irányítható. Ugyanakkor a fuzzy logika alkalmazása a leírtakat biztonságossá teszi, amely a következő algoritmus alapján működik (4. ábra). Ebben a rendszerben a fékbemenet a fékpedál állását reprezentálja, amelyet digitális vagy analóg formában kap. A 4 W.D. az összkérmeghajtást jelenti, illetve azt közli, hogy a jármű négykerék-meghajtásos állapotban van-e? A gyújtásbemenet jelzi, hogy a gyújtókapcsoló helyén van-e, illetve a motor elindult-e, vagy sem. A visszajelzés reprezentálja a bemenetek halmazát,

szer, impulzusszélesség (PWM) modulációt alkalmaz.

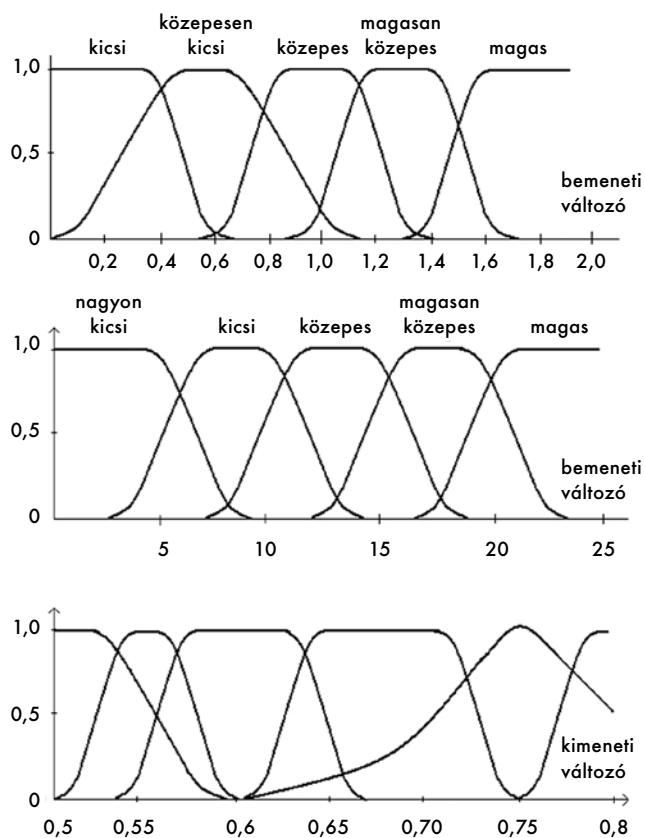
Megjegyzés: a különböző gyártó cégek különböző FLC áramköröket alkalmaznak, amelyek programozása is eltér egymástól.

Alkalmazás a kerék-út kapcsolatának meghatározásában

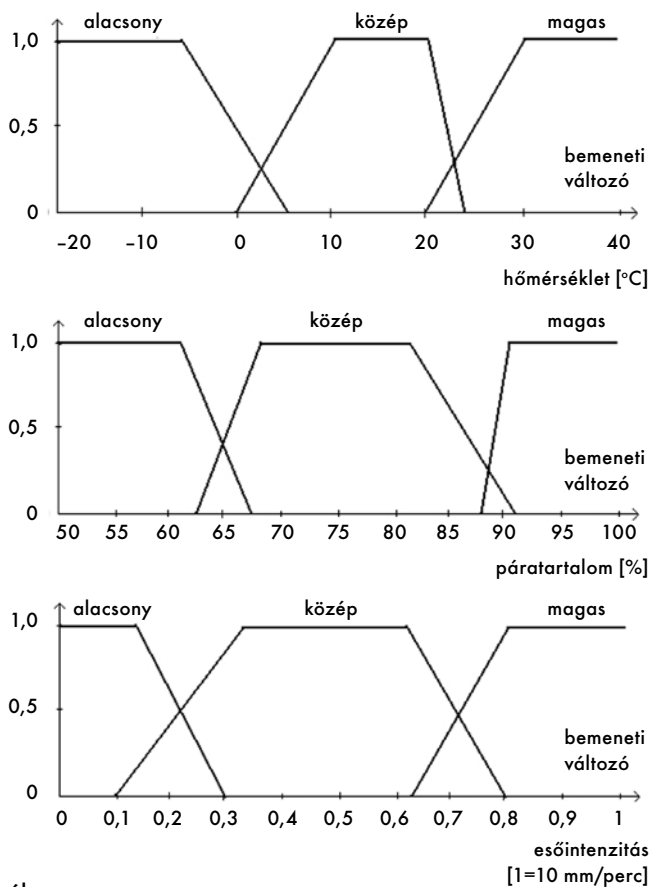
Az ilyen rendszerek általában el vannak látva olyan szenzorokkal, amelyek érzékelik a burkolat egyenetlenségét, páratartalmát, hőmérsékletét és az esőintenzitást. Tudjuk, hogy az aktív biztonság legkritikusabb, így döntő tényezői a kerék-út kölcsönhatás folyamataival kapcsolhatók össze, amely megállapítható az adott érintkezési erők és a kerékcúszás összefüggéséből (5. ábra). A feladat, hogy megakadályozzuk és elkerüljük a kerék megpördülését a μ (s) görbék szélső értéke utáni területén. Ahhoz, hogy értékelni tudjuk ezt

amelyek az ABS-rendszer állapotát jelzik. A rendszer két kimenettel rendelkezik: a PWM-jelekkel, amelyek a fékek működtetéséhez szükségesek, illetve egy hibajelző lámpát működtető jel arra az esetre, ha bármilyen rosszul működne a rendszeren belül. Ahhoz, hogy a különböző kerekekhez különböző jeleket szolgáltatson a fuzzy rend-

a szabályozási folyamatot, ismerni kell a kerék-út tapadási tulajdonságait a jármű mozgásának minden egyes pillanatában. A probléma számítógépes és hardver alapú megközelítéssel megoldható. A fejlesztők az út tulajdonságainak számítógépes felismeréséhez neurális hálózatokat, tribológiai modelleket, Kálmán-szűrőn alapuló modelleket és különböző dinamikus modelleket javasoltak. Mint már korábban említettük, a biztonságot szolgáló folyamatok nemlineárisak, amelyek nehezítik az alkalmazást. Így a járművek befolyásoló rendszereinél a kerék-út kapcsolat paramétereinek analitikus úton történő meghatározása és algoritmizálása korlátozott a feldolgozási sebesség magas követelményei miatt (főként fékezési folyamatoknál). A fékezés szabadideje és a fékkapcsoló hiszterézis vesztesége is komoly határt szab ezeknek az eljárásoknak. Tovább fokozza a nehézséget, hogy jó analitikus módszert nem is lehet találni az útfelismerés általános megközelítésére, a kerék-út kapcsolat kaotikus jellege miatt. A kerék-út kapcsolat paramétereinek hardver alapú meghatározása is több módon lehetsé-



6. ábra



7. ábra

ges. Ilyenek az érzékelők alkalmazása, amelyek letapogatják az út felületi profilját (mikrohullámú spektrométerek és Doppler szenzorok), és az abroncs deformációját figyelő szenzorok. Ismertek a reakciós erők és reakciós pillanatok meghatározására szolgáló jelátalakítók is. Ezeknek az alkalmazását számos konstrukciós tényező korlátozza, bár az off-board szenzorok alkalmazása javít ezen az állapoton. A leírtak alapján célszerű a számítógépes és hardver alapú módszerek együttes alkalmazása, illetve e módszerek kiterjesztése a fuzzy logika alkalmazására.

Útfelismerés fuzzy logikával off-board szenzoros aktív biztonsági rendszerben

Az abroncs és az útfelület közötti súrlódási tényező értéke sok tényezőtől függ, amelyet a jármű tulajdonságai, illetve az érintkezési felület tipológiai tulajdonságai határoznak meg. Ilyenek az útfelület szerkezete, normál erő hatása a kerék-út kapcsolatnál, az útfelület mikro- és makroprofilja, a jármű sebessége manő-

E témával részletesen Valentin Ivanov, Barys Shyrokan, Vladimir Siakhovich – Belorusz Nemzeti Műszaki Egyetemről – foglalkozott. A javasolt módszer két fuzzy vezérlőn alapul, amelyet nevezünk egyenetlenségi és környezeti vezérlőegységnek. Az egyenetlenségi vezérlő bemeneti változói azok az értékek, amelyeket a letapogató érzékelők állítanak elő az útfelület mikro- és makroprofiljáról egy adott útkeresztmetszetben. A kimeneti változó a tapadási tényező egy bizonyos alapértékét (μ_{alap}), amely az útfelület textúra jellemzője (6. ábra). A környezeti vezérlő módosítja a súrlódási tényező alapértékét, figyelembe véve a környezet hőmérsékletét, páratartalmát és az eső intenzitását. A korrigált eredmény a súrlódási tényező új értéke ($\mu_{\text{körny}}$). A be- és kimeneti változók alakulása a 7. ábrán látható. A vezérlő működési szabályait az időjárás körülmények statisztikai megfigyelésére alapozva alakították ki. Az említett két vezérlőt egy blokkba vonták össze, és az alábbi algoritmus segítségével dolgozza fel a kerék-út súrlódási tényezőjének azonosított értékét (μ^p).

ver közben. Általánosságban az aktív biztonsági rendszer algoritmusait egy száraz, egy nedves és egy jéggel borított útfelületre állítják be. Bizonyos feltételek mellett a μ (s) görbe szélső értéke nagy szórást mutat, ami miatt precíz analitikus módszer nem alkalmazható a vezérlő algoritmusban. Az empirikus modelleket (pl. Magic Formula vagy Pacejka abroncsmodell) pedig a hardverösszetevők feldolgozási sebessége korlátozza. Ezekkel indokolható, hogy a fejlesztők a fuzzy módszert hívják segítségül a probléma megoldására.

Ha $1/2 \mu_{\text{körny}} - \mu_{\text{alap}}^{1/2} < 0,1$ akkor μ^p egyszerű átlagérték

Ha $(\mu_{\text{körny}} - \mu_{\text{alap}}) > 0,1$ akkor $\mu^p = \mu_{\text{alap}}$

Ha $(\mu_{\text{körny}} - \mu_{\text{alap}}) < 0,1$ akkor $\mu^p = \mu_{\text{körny}}$

Útfelismerés szélső érték segítségével

A meglévő aktív biztonsági rendszerek algoritmusai túlnyomórészt a megcsúszás befolyásolásán alapulnak. Ezek a rendszerek a kerék kinematikus jellemzőit becsülik meg, ami több negatív tényezőt is produkál. Ezek elkerülésére a kerék megcsúszás szélső érték előtti vezérlésstratégiáját kell alkalmazni. Ez a rendszer kiszámítja a kerék-út kölcsönhatás valós változóit (s , μ_x , μ_y) az on-board szenzoroktól nyert adatok alapján és megbecsüli azt a területet, ahol a legnagyobb a kerék-út tapadási együtthatójának értéke (μ^p az 5. ábrán). A becslési folyamathoz fuzzy vezérlést alkalmaznak. Megjegyzés: a különböző gyártó cégek különböző FLC áramköröket alkalmaznak, amelyek programozása is eltér egymástól.

DR. OLÁH FERENC

Irodalom

1. Mitsubishi Unveils New Galant - Automotive News, 18 May 1992.
2. www.intel.com/design/mcs96/designex/2351.htm - David Elting
3. Mohammed Fennich, Robert Kowalczyk, Bert Hollenthal: fuzzy Anti-Lock Brake System Solution
4. Kempelen Farkas Hallgatói Információs Központ - www.hik.hu/tan-konyvtar/site/books/b120/sk-1.1.html
5. www.idat.at/Automation/fuzzy_basics.htm
6. www.rit.bme.hu/letoltheto/szamszim/F_4/Fuz_log.html
7. J. E. Naranjo-C. González-J. Reviejo-R. Garcia-T. de Pedro: Adaptive fuzzy Control for Inter - Vehicle Gap Keeping IEEE Transactions on Intelligent Transaction Systems 2003. szept.
8. M. Sugeno: An introductory survey to fuzzy control - Info. Sci. 1985.
9. T. Takagi-M. Sugeno: fuzzy identification of systems and its applications to modeling and Control. IEEE Trans. Syst. 1985. január/február
10. Valentin Ivanov - Barys Shyrokan - Vladimir Siakhovich: Road identification for ITS- integrated systems of automotive active safety - Transport 2005/2