

MISKOLCI EGYETEM



GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

KITERJESZTETT FRI MÓDSZEREK, ÉS ALKALMAZÁSAIK

Ph.D. értekezés tézisei

KÉSZÍTETTE:

**Krizsán Zoltán**

Okleveles mérnök-informatikus

AKI A DOKTORI FOKOZAT ELNYERÉSÉRE PÁLYÁZIK

HATVANI JÓZSEF INFROMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

ALKALMAZOTT SZÁMÍTÁSTUDOMÁNY TÉMATERÜLET

ADAT- ÉS TUDÁSBÁZISOK, TUDÁSINTENZÍV RENDSZEREK TÉMACSOPORT

TÉMAVEZETŐ:

Dr. habil. Kovács Szilveszter

Miskolc, 2014.



Krizsán Zoltán

## Kiterjesztett FRI Módszerek, és Alkalmazásaik

PhD értekezés tézisei

Miskolc, 2014.

## Védési bizottság

### Elnök:

Prof. Dr. Szigeti Jenő, CSc

ME, egyetemi tanári, intézetigazgató

### Titkár:

Dr. Mileff Péter, PhD

ME, egyetemi adjunktus

### Tagok:

Dr. Erdélyi Ferenc, CSc

ME, ny. egyetemi docens

Dr. Johanyák Zsolt Csaba, PhD

Kecskeméti főiskola, főiskolai tanár

Dr. Vámosy Zoltán, PhD

Óbudai Egyetem, egyetemi docens

Dr. Fegyverneki Sándor, PhD

ME, egyetemi docens, intézeti tanszékvezető

### Opponensek:

Dr. Korondi Péter, DSc

BME, tanszékvezető, egyetemi tanár

Dr. Reskó Barna, PhD

Óbudai Egyetem, egyetemi adjunktus

## TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	1
1.1. Irodalmi áttekintés	1
1.2. Kutatás célja	5
2. Új tudományos eredmények	6
2.1. Definiáltam egy általános metodikát a két lépéses fuzzy interpolációs módszerekhez, hogy kezelni tudják a dupla pontos fuzzy leírást	6
2.2. Bevezettem az Elő-kiértékelő módszert az IEC koncepcióba	10
2.3. Megoldást adtam az OpenRTM-aist CORBA technológia független vezérlésű kialakítására	16
3. Eredmények hasznosítása	20
4. További kutatási feladatok	21
5. Summary	22
6. Saját publikációk és értekezések a témakörben	25

\*

A disszertáció tézisei az intelligens számítási módszerek alkalmazási területein belül három fő tématerület köré csoportosulnak. Az első a fuzzy szabály-interpolációs módszerek (Fuzzy Rule Interpolation, FRI) speciális, a fuzzyságot is interpolálni képes kiterjesztéséhez, a második az interaktív evolúciós módszerek (Interactive Evaluation Computation, IEC) FRI modell alapú megoldásaihoz, a harmadik az OpenRTM-aist robot middleware strukturális átalakításához kapcsolódik.

Az első két tézis témája a fuzzy interpolációs modellezés. A fuzzy logikai rendszer alkalmazások nagy része a szabály alapú tudásreprezentáció. A fuzzy következtetések a fuzzy megfigyelések fuzzy szabálybázis alapján számított értékei. A klasszikus fuzzy rendszerek megkövetelik a fuzzy szabályrendszer teljességét, a lehetséges fuzzy megfigyelések fuzzy szabály antecedensekkel való teljes lefedését. Ez azt jelenti, hogy klasszikus fuzzy tudásreprezentáció esetén minden lehetséges fuzzy megfigyelésre biztosan illeszkedik legalább egy szabály antecedens. A szabálysám tekintetében ez a megfigyelés dimenzió számával exponenciálisan növekedő értéket jelent. A gyakorlati esetek egy részében ez nem teljesíthető. Az ilyen nem teljesen fedő vagy más néven ritka szabálybázisú rendszer gyakran nem jelent tényleges információ hiányt, csak a lényegi információ kinyerés, vagy esetleg szabálybázis tömörítés eredménye. A ritka szabálybázisú fuzzy rendszerek következtetési módszere a fuzzy szabály-interpoláció (FRI). Általánosságban az FRI modellek ritka szabályrendszere a teljes szabályrendszerből az interpolációs módszer által kikövetkeztethető szabályok elhagyásával nyerhető.

A harmadik tézis robot middleware-t érintő eredményei a robotikai és virtuális valóság rendszerek fuzzy modell alapú ember-gép kapcsolat implementációja során felmerült strukturális problémákra adnak megoldást.

### 1.1 Irodalmi áttekintés

A fuzzy logikát Zadeh vezette be [1] közel ötven éve, ami napjainkban a mindennapok eszközeinek gyakran használt modellje lett. Kóczy a [2] cikkében felvetette a ritka szabálybázisú fuzzy rendszerek elméletét, ahol csak néhány szabály van, nincs teljes

lefedettség. Ha a megfigyelés olyan helyen található, ahol éppen nincs szabály, akkor a létező szabályok alapján interpoláljuk a következményt.

Azokat a módszereket, amelyek ritka szabálybázis esetében következményeket számolnak, FRI (Fuzzy Rule Interpolation) módszereknek hívjuk. Számos FRI módszert vezettek be, amelyek különbözőképpen számolják a következményt. Ezeket két nagy csoportba sorolhatjuk aszerint, hogy hány lépésben határozzák meg a következményt.

Az egy lépéses vagy direkt módszerek a következményt egy lépésben állítják elő. Ezen csoport meghatározó képviselői: a KH [2], melyet Kóczy és Hirota vezetett be, a MACI [3] (Tikk és Baranyi), a FIVE [4] (Kovács és Kóczy), az IMUL [5] (Wong, Gedeon, és Tikk), és VKK [6] (Vass, Kalmár és Kóczy) módszerek.

Találhatóak olyan módszerek is, melyek nem egy, hanem két lépésben határozzák meg a következményt. Első lépésben egy ideiglenes szabályt hoznak létre a megfigyelés helyén, majd második lépésben ezen átmeneti szabály alapján határozzák meg a következményt a megfelelő helyen, a megfelelő alakkal. Ezen eljárások lépéseit Baranyi és társai definiálták [7]. Ennek a családnak a módszerei az ST [8] (Yan, Mizumoto, és Qiao), az IGRV [9] (Huang és Shen), Johanyák által javasolt FRIPOC [10], LESFRI [11] és a Jenei által javasolt [12] módszerek.

Az eddig ismert FRI módszerek nem minden esetben tudják leírni a fuzzyság változását, ezért 2012-ben Kovács Sz. [13] bevezette a dupla pont fuzzy leírást. Kovács Sz. cikkeiben számos kiterjesztett FRI metódust ismertetett, melyeket összehasonlított az eredetiekkel. Azonban hiányzik egy általános módszertan, amely pontokba szedve előírná a kiterjesztés lépését.

Azokban az esetekben, amelyekben nehezen adható meg a célfüggvény, de az egyed jósága meghatározható, a természet által inspirált evolúciós algoritmusok (Evolutionary Computation - EC) jó hatékonysággal alkalmazhatók. A genetikus algoritmus is ezen módszerek csoportjába tartozik, ahol egy matematikai formulával meghatározott jósági (fitness) függvény határozza meg a generált egyed közül a nyertes példányt.

Azonban nagy számban léteznek olyan problémák, melyek esetében az egyed jóságának matematikai leírása nem lehetséges, vagy nehézkes. Általánosan jellemző ezekre a problémákra, hogy egy szakértő személy tapasztalata és ismeretei alapján tudja csak megállapítani a generált minták minőségét. Ilyen esetekre dolgozta ki Takagi az IEC (Iterative Evolutionary Computation) [14] módszert, ahol a fitness függvényt

cserélte le egy szakértő személyre. Ez a szakértő látja, vagy hallja a mintákat, értékeli azokat. A módszerben így megjelenik a felhasználó véleménye.

A problémákat két nagy csoportra tagolhatjuk aszerint, hogy az értékelendő egyedeket hogyan tudjuk „megjeleníteni”. Az egyedek különbözőségét a szakértőnek valahogy észlelnie kell, mert ez alapján tud különbséget tenni azok között. Ráadásul az egyedek szubjektív és a paraméterek objektív különbözősége esetenként kevésbé függ össze. Egyszerűbb esetekben van lehetőség több egyed egyidejű megjelenítésére, más esetekben nem.

Olyan esetekben, amikor lehetséges több minta egyidejű megjelenítése, a szakértő 10-20 lehetséges megoldást „észlel” egy iterációban, és lehetőleg mindegyik mintát értékeli. Az iterációk száma is jelentős (10-20) mire a legoptimálisabb egyedet megtalálja. Így összesen 200-400 mintát lát, amitől elfárad, érdektelenné válik, értékelése kevésbé lesz pontos. Az esetek jelentős részében ez használható, mint például 3 dimenziós objektumoknál, 2 dimenziós képeknél.

A másik fajta az IEC rendszereknek, amikor nem lehetséges a több minta egyidejű megjelenítése. Ilyenkor páros összehasonlítást javasolnak, amely főleg a hangok, mozgások kapcsán javasolt. Ebben az esetben viszont nagyon sok iteráció szükséges a megfelelő egyed kiválasztására. Itt problémát jelent az egyedek megjelenítése is, gyakran egyedi új eljárások szükségesek.

Mindkét fajta IEC probléma esetén a felhasználónak explicit értékelnie kell kettő vagy több egyed a gyors eredmény érdekében. Abban az esetben, ha a mintáknak csak elenyésző számát értékeli, úgy több iterációra van szükség.

A szakértő elfáradásának csökkentése érdekében vezette be Takagi az Interaktív Differenciális Evolúciós (Interactive Differential Evaluation - IDE) koncepciót, amely a Differenciális Evolúciós és az IEC módszer előnyeit ötvözi [15], ahol szintén a felhasználó szakértő értékeli az egyedeket. Végül Takagi és Pelletier egy páros összehasonlítást javasol (Comparison based Interactive Differential Evaluation - CBIDE) [16].

Kognitív informatikai rendszerek esetén a rendszernek különböző kognitív képességekkel rendelkező elemei kommunikálnak egymással. A kognitív infokommunikáció koncepciót Baranyi et al vezette be [17]. A legtöbb esetben ez egy emberi felhasználó és valamilyen intelligens eszköz között jön létre.



Amíg az előző két téma a mesterséges intelligencia rendszerek elveit, főleg az azokat vezérlő modelleket írta le, a rendszer üzemeltetése során szükség van a robotrészek kommunikációjára is. A robot rendszerek manapság komponens alapúak, amelyek megkönnyítik a fejlesztést, és így a robotrészek könnyebben illeszthetők és cserélhetők. A robot rendszerek osztott környezetben működnek, azaz részei különböző helyen futnak. Ezeknek a részeknek a kommunikációját biztosítani kell valamilyen automatizmusnak, kódrészletnek.

Lehetnek egyedi megoldások saját szabályok, protokollok alapján. De ezek a későbbi fejlesztést nehézkessé teszik, és sok dokumentációt, tesztet igényelnek. Kezdetben csak a socket mechanizmus állt rendelkezésre, majd egyre-másra alakultak ki a biztonságosabb és kényelmesebb megoldások, míg manapság kommunikációs middleware-eket használhatunk erre a célra. Mint kommunikációs réteg használhatjuk a 90-es években létrejött CORBA (Common Object Request Broker Architecture) specifikáció valamely implementációját, vagy a manapság megjelent ICE (Internet Communication Engine) rendszert.

Az RTC (Robot Technology Component) specifikációban fektették le a robotrészek tervezésének, üzemeltetésének szabályait, amely a [18] helyen érhető el.

Léteznek robot rendszerek készítését megkönnyítő szoftverek, rendszerek, mint például az OpenRDK Calisi et al ismertette a [19] cikkében (letölthető a [20] helyről), és a YARP (Yet Another Robot Platform), melyet Fitzpatrick et al [21] (elérhető a [22] helyen). Érdeemes megemlítenünk a manapság divatos, és a robotgyártók körében népszerű ROS (Open Robot Operating System) rendszert is, melyet Quigley vezetett be 2009-ben a [23] cikkben. Ezen rendszerek mindegyike komponens alapú és a CORBA-t használja. Sajnos két erős előfeltétele van, csak Linux operációs rendszert és a C++ programozó nyelvet támogatják.

Jelenleg az egyetlen robot specifikációnak egy implementációja létezik, az OpenRTM-aist (letölthető [24] a helyről), melynek működését Ando et al [25] ismertette. A robot middleware eltakarva a kommunikációs middleware-t, transzparensten szolgáltatja a távoli vagy helyi robot komponensek elérését, vezérlését.

## 1.2 *Kutatás célja*

Célul tűztem ki a Kovács Sz. által bevezetett dupla pont leírásakor adott két példa módszeren túl egy általános leírás készítését. Emellett célom volt egy olyan „kiterjesztési útmutató” definiálása, ami alapján a megfelelő FRI módszerek kiterjeszhetőek. Ehhez kapcsolódóan annak meghatározása, hogy mely módszerek milyen feltételek mellett terjeszthetőek ki, és milyen tulajdonságokkal rendelkeznek a kiterjesztett módszer.

További célom egy új eljárás kidolgozása az IEC rendszerekhez, amely csökkentené a felhasználó fáradását, és az abból adódó hibák mértékét. Egy elő-kiértékelési folyamat, amely a felhasználóra jellemző értékelést ad a látható (vagy hallható) minták mindegyikére. Ha a felhasználó azt az értéket jónak ítéli, akkor változatlanul hagyja, ha nem, akkor javítja. Ha több mintát lát (5-10) egyidejűleg, akkor nem kell minden egyed értékét állítania, elég csak azt, amellyel nem ért egyet. A javasolt érték az adott felhasználóra jellemző, amely a régebbi válaszai alapján számított. Egy ilyen kiterjesztett IEC rendszer modelljének, szerkezetének, és működésének a kidolgozása a cél, amely ritka szabálybázisú Fuzzy rendszeren alapszik.

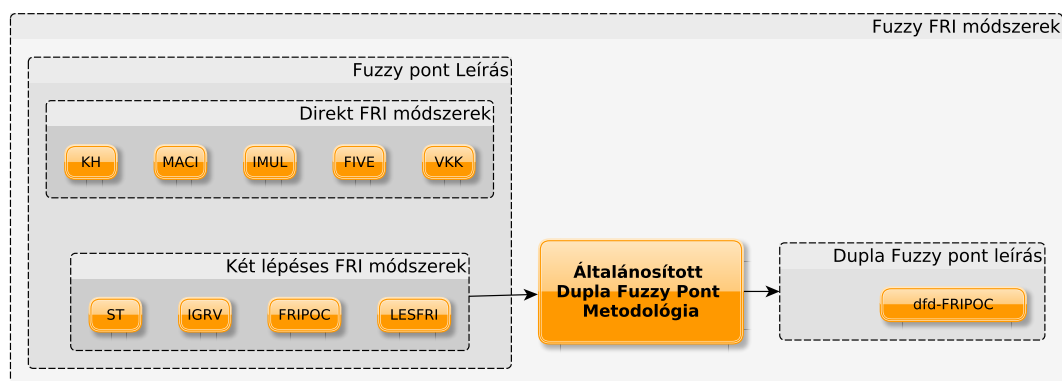
Robot keretrendszerek területén első feladat a kívánalmak meghatározása, a hiányzó részek tervezése és kidolgozása. A manapság használatos minden robot keretrendszer CORBA alapú, azaz minden eleme (a grafikus szerkesztő is) GIOP protokollt használ, így a megfelelő környezet szükséges a használatukhoz. Célom, hogy a végfelhasználónál futó grafikus rendszer szerkesztőt függetlenítsem a CORBA-tól, és egy könnyen módosítható, réteges struktúrát hozzak létre, amely a későbbiek során speciális ismeret nélkül is könnyen módosítható.

## 2 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

### 2.1 Definiáltam egy általános metodikát a két lépéses fuzzy interpolációs módszerekhez, hogy kezelni tudják a dupla pontos fuzzy leírást

Bevezettem a GDFPM (General Double Fuzzy Point Methodology) általános módszertant, amely a kétlépéses fuzzy szabály interpolációs (Fuzzy Rule Interpolation, FRI) módszerek utolsó lépésének módosításával alkalmassá teszi azokat a fuzzyság aránytartó leképzésére. Két megoldást adtam a fuzzyság aránytartó leképzésére. Egyet az  $\alpha$ -vágatokon mért távolságok legkisebb négyzetének elvén (LESFRI), és egy másikat a polár-vágatokon mért távolságok (FRIPOC) elvén. Az új módszertan a kétlépéses FRI módszerek fuzzyság tartományt meghatározó, dupla fuzzy pont szabályformátumot kezelni képes általános kiterjesztése. A módosított FRI módszerek időkomplexitás jellege nem változik jelentősen, időigényük kétszeresére növekszik. Az eredeti kétlépéses FRI módszerekhez képest a módosítás első lépése nem egyszerű szabályok, hanem dupla fuzzy pont szabálypárok ( $R^p$  és  $R^q$ ) alapján határozza meg az ugyancsak dupla fuzzy pont ideiglenes szabályt ( $A_i^{p,q} \rightarrow B_i^{p,q}$ ), majd második lépésként e szabálypár és a megfigyelés ( $A^*$ ) fuzzyság aránytartó leképzésével a fuzzy következményt ( $B^*$ ).

A Baranyi et. al. 2004-ben javasolt [7] két lépéses FRI módszer továbbfejlesztve, egy általános kiterjesztési leírást adtam, amellyel az így kiterjesztett FRI metódus már tudja kezelni a dupla pontos Fuzzy leírást. Az Általánosított Dupla Fuzzy Pont Metodika (Generalized Double Fuzzy Point Methodology, GDFPM) előírja a kiterjesztés lépéseit, és javaslatokat is ad azokra. Az FRI módszereket, azok osztályozását, és az általánosított Dupla Fuzzy pont Metodika viszonyát az 1 ábra szemlélteti.



1. ábra. Fuzzy FRI módszerek osztályozása és az Általánosított Dupla Fuzzy Pont metodológia viszonya

Az általános két lépéses FRI metodus által előírt lépések a következők:

1. Átmeneti szabály generálása a megfigyelés helyén. Ha a megfigyelés pozíciójában nincs szabály, akkor a meglévő szabályokból egy új, átmeneti szabály generálása. Ehhez a szabály generáláshoz vagy a két közrefogó szabályt, vagy az összes szabályt figyelembe veszi a módszer a távolság függvényében.
2. Következmény generálása az átmeneti szabály alapján. Ez a lépés további két részlépésre bontható:
  - a) A következmény helyzetének meghatározása. Az alapgondolat, hogy az átmeneti szabály antecedens vetülete és a többi figyelembe vett szabály antecedens vetületeinek helyzete meg kell, hogy egyezzen az átmeneti szabály konzekvens vetülete és a többi figyelembe vett szabály konzekvens vetületeinek helyzetével.
  - b) A következmény alakjának meghatározása. A fő elv itt az arány megtartása. A megfigyelés és az ideiglenes szabály antecedens oldalának helyzete meg kell, hogy egyezzen a következmény és az ideiglenes szabály konzekvens oldalával.

Ezzel szemben az Általánosított Dupla Fuzzy Pont Metodika a következő lépéseket javasolja:

1. *Átmeneti szabály pár* generálása a megfigyelés helyén. Ebben a lépésben valójában az eredeti FRI módszer első lépését kell a szabálpár mindkét szabályára elvégezni. *Az általánosított módszertan egyetlen feltétele, hogy a megfigyelésnek az ideiglenes szabálpár antecedens vetületei által kijelölt tartományban kell lennie.*
2. Következmény generálása az átmeneti szabálpár felhasználásával.
  - a) A következmény helyzetének meghatározása. Ez a lépés nem módosul jelentősen, hiszen a szabálpár definíciója alapján a szabálpárt alkotó két szabály egybeesik. Így a számításnál az átmeneti szabálpár bármely szabályát használhatjuk az eredeti módszer lépéseit használva.
  - b) A következmény alakjának meghatározása az átmeneti szabálpár fuzyszágának változása alapján. Ez a lépés jelentős újításokat tartalmaz, melyek bővebb leírása alább található.

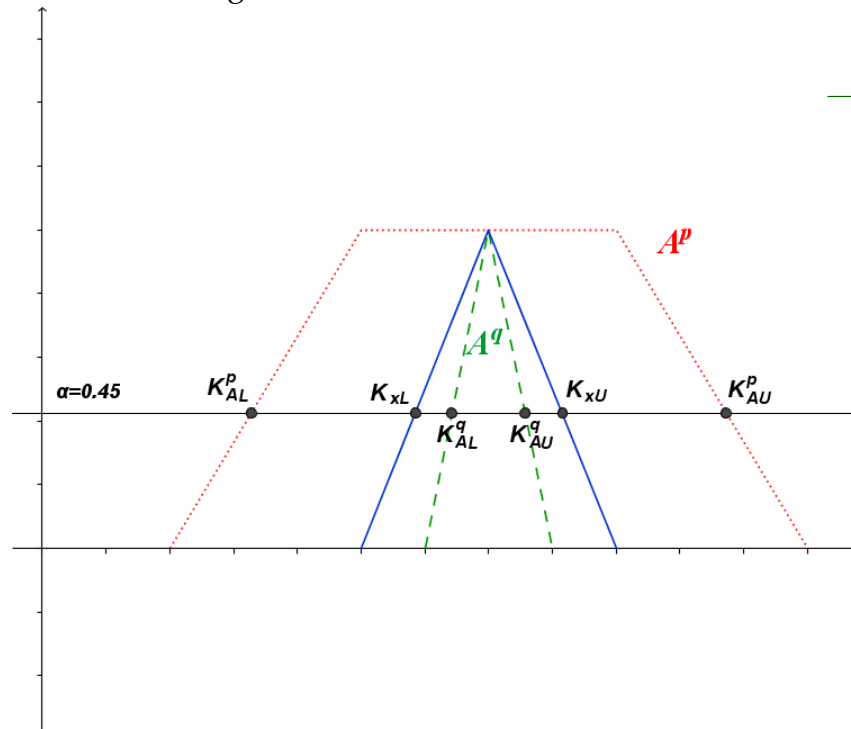
Az eredeti két lépéses FRI módszerek az utolsó lépésként a következmény alakjának meghatározásakor figyelembe veszik a megfigyelést és az ideiglenes szabály antecedens vetületét. Rögzített szabálybázis esetén ez azt jelenti, hogy

- a következmény fuzyszága változásának iránya azonos a megfigyelés fuzyszága változásának irányával (csökkenés csökkenést, növekedés pedig növekedést von maga után)
- a megfigyelés fuzyszágának változása mértékében változik a következmény fuzyszága is.

Ebben az utolsó lépésben a következmény alakját a megadott szabálpár és a megfigyelés viszonya határozza meg. A dupla pontos fuzzy leírás alapkonceptiója kimondja, hogy az ideiglenes szabálpár antecedens vetülete által kijelölt tartományt a megfigyelés olyan arányban osztja fel, mint ahogy a szabálpár konzekvens oldali vetületének tartományát a következtetés.

A hagyományos két lépéses módszerekben a következmény számításának két leggyakoribb módja az  $\alpha$  vágat alapú és a polár vágat alapú számítás. Az  $\alpha$  vágat alapúak szinthalmazokon, míg a polár vágat alapúak egy a fuzzy halmaz referencia pontjára illeszkedő polár koordináta rendszerre vetítve számolják a halmazok alakjának hasonlóságát. Ezért a dupla fuzzy pontos következtetés utolsó lépéseként én is

az  $\alpha$  vágat és a polár vágat alapú módszereket vizsgáltam. Az alapul szolgáló FRI módszerekhez hasonlóan a számításokat ez esetben is az  $\alpha$ , vagy polár vágat szinthalmaz elemeire kell elvégezni.



2. ábra.  $\alpha$  vágat alapú fuzzy hasonlóság mérték

Az  $\alpha$  vágat alapú arány számítását a 2 ábra szemlélteti, ahol az egyik  $\alpha$  vágat ( $\alpha = 0.45$ ) esetén az antecedens oldali vetületet és jellemző pontokat láthatjuk.

Általános alakban felírható a következőt egyenlet:  $\forall \alpha \in (0, 1]$ :

$$fuzzinessRatio(B^{p,q}, y)_\alpha = fuzzinessRatio(A^{p,q}, x)_\alpha \quad (1)$$

A 2 ábra jelöléseit használva, ez a következő arányokat eredményezi:

$$\frac{d_\alpha(K_{BL}^p, K_{yL})}{d_\alpha(K_{yL}, K_{BL}^q)} = \frac{d_\alpha(K_{AL}^p, K_{xL})}{d_\alpha(K_{xL}, K_{AL}^q)}, \quad (2)$$

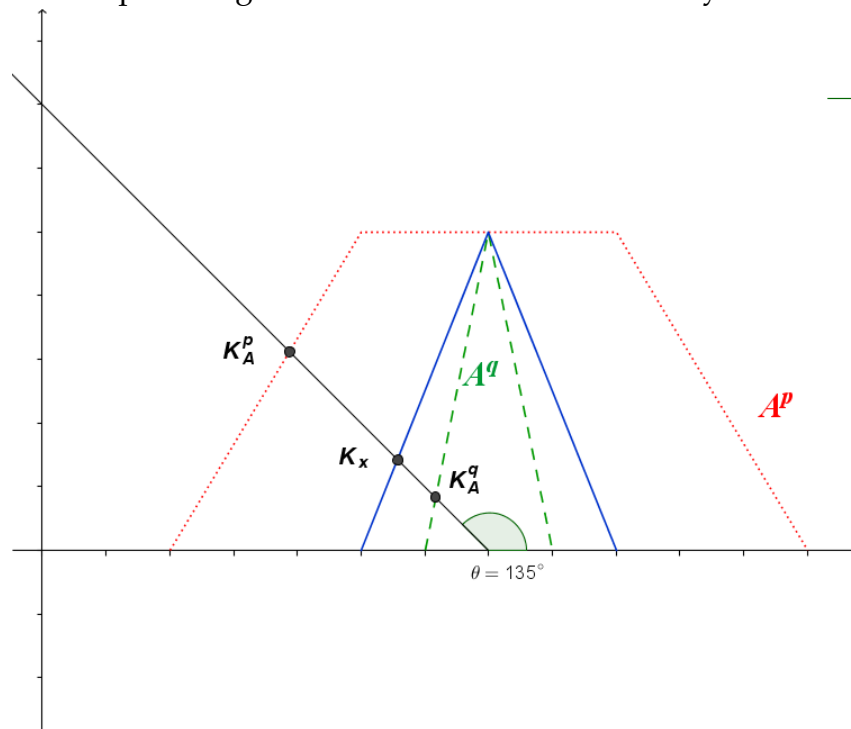
$$\frac{d_\alpha(K_{BU}^p, K_{yU})}{d_\alpha(K_{yU}, K_{BU}^q)} = \frac{d_\alpha(K_{AU}^p, K_{xU})}{d_\alpha(K_{xU}, K_{AU}^q)}.$$

A polár vágat alapú két lépéses FRI módszerek esetén az arányok általános leírására a következő egyenlet adható meg:  $\forall \theta \in (0, 180)$ :

$$fuzzinessRatio(A^{p,q}, x)_\theta = \frac{d_\theta(K_A^p, K_x)}{d_\theta(K_x, K_A^q)} \quad (3)$$

ahol ugyancsak célszerű az eredeti módszer felbontását választani.

A 3. ábra a  $\theta = 135^\circ$  polár vágat esetén szemlélteti a tartomány hasonlóságát.



3. ábra. polár vágat alapú hasonlóság mérték

## 2.2 Bevezettem az Elő-kiértékelő módszert az IEC koncepcióba

A kiértékelést végző szakértő munkáját könnyítendő bevezettem az elő-kiértékelő koncepciót az interaktív evolúciós (Interactive Evolution Computing, IEC) rendszerekbe. Az elő-kiértékelő úgy segíti a szakértőt, hogy az egyedek megjelenítésekor azokhoz egy becsült értéket rendel, melyeket a szakértő vagy elfogad vagy megváltoztat. A javasolt értékeket a szakértő korábbi értékelései alapján épülő ritka szabálybázisú FRI modell számítja. Azokban az esetekben, amikor a javasolt érték megfelel a szakértőnek, nem kell beavatkoznia. Így az elő-kiértékelő modell fokozatos finomodásával együtt egyszerűsödik a szakértő munkája. Meghatároztam egy elő-kiértékelővel kibővített IEC rendszer struktúrát, valamint a VirCA háromdimenziós térben javaslatokat tettem az egyedek számított értékeinek a vizuális megjelenítésére.

Az interakción alapuló ember-gép kapcsolat nagyon fontos a számítógéppel segített tervező rendszerekben. Ezen a kutatási területen sikeresen alkalmazták az IEC módszert. Az IEC egy olyan genetikus algoritmus család, ahol az egyedeket kiértékelő fitness függvényt lecserélték egy valódi szakértő személlyel. Ez olyan problémák esetén

használható, amikor a probléma nehezen, vagy egyáltalán nem írható le matematikai módszerekkel.

IEC alapú megoldások alkalmazásakor első lépésként definiálnunk kell az egyedek fontos tulajdonságait (Feature Parameter, FP). Ezek lehetnek nagy számúak is, akár 20-40 darab is. Olyan mérhető értékek, melyek változása döntően befolyásolja az egyedet. A szakértő számára ezek száma és értéke lényegtelen, ezeknek csak a hatását látja. Ezeknek a paramétereknek az értékeit a genetikus algoritmus állítja elő. Ilyenek lehetnek például gyártandó termék esetén a furat mélysége, furatok száma, megmunkált felület minősége, megmunkált felületek nagysága. Ezen paraméter értékek megfelelő kombinációját keressük a szakértő segítségével.

A szakértő egy adott iterációban több mintát lát, amelyeket értékel. A minta megjelenítését döntően befolyásolja a paraméterek aktuális értéke. A szakértő az értékelés alapján a következő iterációban olyan új egyedeket lát, amelyek valószínűleg megfelelőbbek, hiszen a genetikus algoritmus az adott populációt az előző populáció nyertes egyedei alapján generálja.

A szubjektív értékelésnek azonban vannak korlátai. A kiértékelő személy több mintát lát, melyet osztályoz. A kiértékelő személy viszonylag hamar elfárad, és nem tudja jól értékelni az egyedeket. Ennek kiküszöbölésére a módszer bevezetője javaslatokat tett az egyidejűleg kiértékelhető egyedek számára, és a kiértékelési iterációk számára.

Új módszert vezettem be az emberi fáradékonyság kiküszöbölése, a felhasználó kényelme érdekében. A kiértékelést segíti egy elő-kiértékelő (pre-evaluator) modul. Ez az elő-kiértékelő a szakértő felhasználó előtt kiválasztja a legjobb egyedeket, majd értékeli is az adott populációból a legjobbakat. Ezen elő-kiértékelő folyamatra a FIVE fuzzy FRI modellt használtam, kihasználva annak gyorsaságát, és könnyen hangolhatóságát.

Az elő-kiértékelő egy tanuló alrendszer, azaz az új értékelések befolyásolják a modul későbbi választát. Kezdetben egy tudás bővítő módban működik, azaz az új értékelést felveszi a tudásbázisába szükség esetén. Előre beállított tudás elérése után átkapcsol adaptációs módba, amelyben már nem vesz fel újabb ismereteket, csak hangolja a létezőket, hogy tudjon reagálni az új bemenetekre is.

A felhasználó döntéseit a rendszer fuzzy szabályként felveszi a ritka szabálybázisú fuzzy rendszerbe, amit a következő döntésnél már figyelembe is vesz. A Fuzzy



szabályok antecedens oldala a tulajdonság paramétereit, a konzekvens oldala pedig az adott paraméterrel rendelkező egyed jósági értékét tartalmazza. Így tehát a szakértő véleménye több bemenetű, egy kimenetű fuzzy szabály formájában tárolódik, melyet a szabály bővítő fázisában elment. Egy felhasználói értékelése az adott egyednek a következő formában tárolódik:

$$\begin{aligned} \text{if } x_1 = FP_1 \text{ és } x_2 = FP_2 \text{ és } \dots \text{ és } x_L = FP_L \\ \text{akkor } y = GV_1 \end{aligned} \quad (4)$$

, ahol  $FP$  a tulajdonság paraméter (Feature Parameter),  $GV$  a jósági érték (goodness value) és  $L$  a tulajdonság paraméterek száma.

Az első  $N$  iteráció után a szabálybázis a következőképpen néz ki:

$$\begin{array}{ccccc} FP_{I_1} & FP_{I_2} & \dots & FP_{I_{21}} & GV_I \\ FP_{II_1} & FP_{II_2} & \dots & FP_{II_{21}} & GV_{II} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ FP_{N_1} & FP_{N_2} & \dots & FP_{N_{21}} & GV_N \end{array} \quad (5)$$

A FIVE módszer skála függvényeinek kezdeti értékei konstans értékek. Ezek a skála függvény értékek csak a konzekvens oldalon változnak az adaptációs fázisban oly módon, hogy az minél jobban megközelítse a szakértő értékelését. A szabály konzekvensenek optimalizálására a gradiens módszert alkalmaztam, amely tanító minta készletet használ. A cél minimalizálni a fuzzy modell és a tanító készlet négyzetes hibáját ( $E$ ).

$$E = \sum_{k=1}^N (y_d(x_k) - y(x_k))^2 \quad (6)$$

, ahol a  $y_d(x_k)$  a kívánt kimenete a  $k^{th}$  tanító készlet adat és  $y(x_k)$  a FIVE fuzzy modell kimenete,  $N$  pedig tanító adatok száma.

Az alkalmazott gradiens paraméter optimalizáló módszer a szabály konzekvens értékét módosítja, a négyzetes hiba függvény  $E$ , melyet a 6 képlet alapján határozhatunk meg, parciális deriváltja alapján.

$$g(c_k) = \frac{\partial E(c_k)}{\partial c_k} = \frac{\partial E(c_k)}{\partial y(x)} \cdot \frac{\partial y(x)}{\partial c_k} \quad (7)$$

$$c_{k\_next} = c_k - \tau \cdot g(c_k) \quad (8)$$

ahol a  $\tau$  az iterációs lépés nagysága,  $c_k$  a konzekvens értéke az adott  $k$ -adik iterációban, a  $c_{k\_next}$  pedig soron következő  $k + 1$ . iterációban.

A 6 és a 7 képletek alapján ez átírható a következő formára:

$$g(c_k) = -2 \cdot (y_d(x_x) - y(x_k)) \cdot \frac{\partial y(x)}{\partial c_k} \quad (9)$$

Végül alkalmazva FIVE módszer Shepard interpolációs formuláját a parciális deriváltra a következő formulát kapjuk:

$$\frac{\partial y(x)}{\partial c_k} = \begin{cases} 1 & \text{bármely } k \text{ esetén, ha } x = a_k \\ \left(1/d_{s,k}^\lambda\right) / \left(\sum_{k=1}^r 1/d_{s,k}^\lambda\right) & \text{egyébként.} \end{cases} \quad (10)$$

Használva a 8, 9 és 10 összefüggéseket a  $k$ . utáni soron következő  $c_{k+1}$  meghatározható.

A javasolt elő-kiértékelő rendszerben a tanító készlet a már meglévő, szabályban tárolt eddigi kiértékelésekből épül fel.

A rendszer lehetővé teszi, hogy a felhasználó megváltoztassa a véleményét a kiértékelés során, azaz egy adott kiértékelés ellentmondó lehet egy más létezővel. Minden kiértékelés alkalmával vizsgálni kell az addigi kiértékeléseket. Ellentmondó egy új értékelés, ha létezik olyan szabály a szabálybázisban, amelynek antecedens távolsága kisebb, mint egy jól megválasztott  $\epsilon$  és a konzekvens értékének különbsége nagyobb, mint egy ugyancsak jól megválasztott  $\delta$ :

$$d(A_{Ri}, A_{Rj}) < \epsilon \text{ és } C_{Ri} - C_{Rj} > \delta \quad (11)$$

, ahol a  $d$  az euklédészi távolság,  $A$  az  $i$ . és  $j$ . szabály antecedensnek,  $C$  az  $i$ . és  $j$ . szabály konzekvens,  $\epsilon$  és a  $\delta$  nem negatív számok.

Ha az adott szabály ellentmondásban áll egy régebbivel, akkor az új felülírja a régebbit.

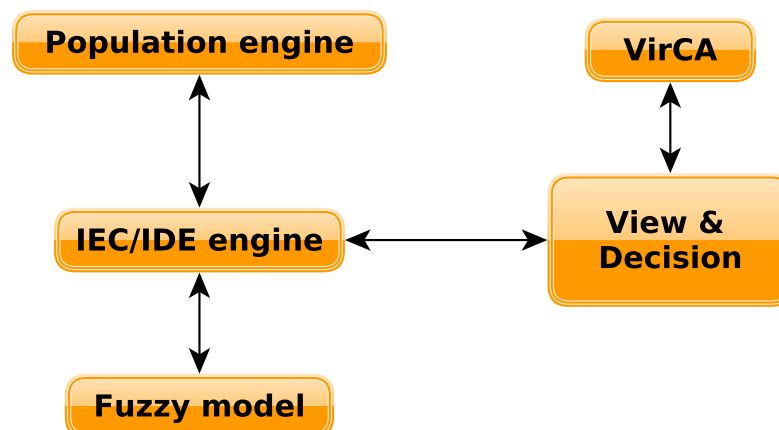
Kezdetben a rendszer üres modellel indul. Minden iterációs lépésben a rendszer megkapja a tulajdonság paramétereit, melyeket a GA generál. Ezek lesznek a

rendszer bemenetei. Egy jósági értéket számol a rendszer, melyet a szakértő valamilyen formában megkap. Ha a szakértő ezt a számított értéket elfogadja, akkor úgy hagyja, de lehetősége van más értéket is beállítani. A szakértő beavatkozása után a rendszer visszakapja az egyed jósági értékét.

Következő lépésben a koherencia teszt következik:

- *A szabály bővítő módban*
  - Ha az új szabály ellentmond egy már létező szabálynak, akkor az új szabály felülírja a régebbit.
  - Ha az új szabály nem ellentétes egyetlen előző szabállyal sem, akkor az új szabály bekerül a szabálybázisba.
- *A szabály adaptációs módban*
  - Ha az új szabály ellentmond egy már létező szabálynak, akkor az új szabály felülírja a régebbit.
  - Ha az új szabály nem ellentétes egyetlen előző szabállyal sem, akkor a rendszer optimalizálja a szabálybázisát az új szabály, mint tanító érték alapján.

A rendszer javasolt topológiát a 4 ábra mutatja.



4. ábra. Elő kiértékelővel kibővített IEC/IDE rendszer javasolt topológiája

A rendszer minden iterációban megkapja az egyedek tulajdonság vektorait, amit a genetikus algoritmus (Population Engine) generált, majd mindegyikhez generál

egy jósági értéket. A későbbiekben ha az új egyed paramétereivel azonos egyedre már volt kiértékelés, és a felhasználó újat adott meg (meggondolta magát), akkor a rendszer átírja a már létező szabályt. Ha nem volt még azonos egyed, akkor felveszi, mint új szabályt. Miután az IDE Engine kiegészítette az egyedek tulajdonság vektorát a jósági értékkel, átadja azokat a Megjelenítő és Döntés fogadó (View & Decision) komponensnek. Ez a komponens a Tulajdonság paraméterek alapján beregisztrálja a VirCA három dimenziós terébe az egyednek megfelelő objektumokat, valamint a jósági érték függvényében kijelöli, vagy vizuális jeleket társít a jósági érték függvényében azokhoz. Az elő-kiértékelő mind a párhuzamos, mind az összehasonlítás alapú IEC rendszert támogatja. Mindkét esetre a VirCA rendszer alkalmazása javasolt, mint három dimenziós megjelenítő rendszer, mert így nem kell a grafikai programozással foglalkoznunk.

A párhuzamos IEC esetében a felhasználó több egyedet lát egyidejűleg. Valójában mindegyik egyed környezetében meg kell mutatni a generált jósági értéket. Miután az IDE motor átadta a kiegészített vektorokat a „Megjelenítő és döntést fogadó” komponensnek, az a beregisztrált objektumok mindegyikénél vizuális jeleket alkalmaz, ami lehet egy egyszerű szám érték, színátmenet vagy élesség alkalmazása. Ha a szakértő állította az egyedek jósági értékét, akkor átírja az egyed vektorokat, majd visszaadja a „IDE Engine”-nek. Szükség esetén az „IDE Engine” elmenti a változásokat a Fuzzy modell-be. Végül a Genetikus algoritmusnak visszaadja az egyed vektorokat, amelyek alapján generálja a következő iteráció egyedeit. Ilyenkor a genetikus algoritmus komponensből több egyed vektorát is megkapja az elő-kiértékelő komponens.

Ezzel ellentétben az összehasonlításra alapuló IEC esetén a genetikus algoritmustól csak két darab egyed tulajdonság vektorait kapja meg az „IDE Engine”. Ugyanúgy mint a párhuzamos IEC-nél itt is kiegészíti a jósági értékekkel a vektorokat. A „Megjelenítő és döntést fogadó” komponensnek azonban több eszköz áll rendelkezésre a kiemelésre. Itt ugyanis csak kettő objektumot regisztrál be, így finomabb lehetőségek is használhatóak, úgy mint kiemelt elem előrébb helyezése, vagy szimpla keretezés. Amíg általában a párhuzamos IEC-nél az egyedek értékelése 1-5 skálán mozog, itt bináris, azaz melyik a jobb.

Mindkét esetben a rendszer bizonyos idő után ugrik a következő iterációra, így a felhasználónak csak akkor kell beavatkoznia, amikor a javasolt értékek nem megfelelőek.

Ezzel a kiterjesztéssel növeltem a kiértékelő személy kényelmét. A tanulási fázis után az adott szakértőre jellemző értékelésekkel látja el az egyedeket, melyeket a felhasználó jó eséllyel elfogad, hiszen az egy előzetes véleménye alapján készült. Így a felhasználónak csak akkor kell beavatkoznia, ha meggondolta magát.

### 2.3 *Megoldást adtam az OpenRTM-aist CORBA technológia független vezérlésű kialakítására*

*Definiáltam egy kiterjesztett OpenRTM-aist robot keretrendszert, melyben lehetővé tettem a komponensek direkt ICE alapokon történő kommunikációját, valamint a web alkalmazás koncepció beillesztésével CORBA független szerkesztő és vezérlő klienseket alakítottam ki. Az új ICE szervíz port koncepció lehetővé teszi a komponensek között az egyirányú kommunikációt, a titkosított csatornát, egy fogyasztó - több szolgáltató topológiát és a komponensek egyszerűbb programozását. A web alkalmazás koncepció injektálása kisebb, szabványos szerkesztő klienseket (web böngésző alkalmazása a korábbi Eclipse kliens helyett), erőforrás kontrollt, hitelesítés és titkosított kommunikáció lehetőségét, offline komponenseket, valamint robot rendszer konfigurációk központi mentését és betöltését teszi lehetővé. A javasolt strukturális módosítások dinamikus programozói könyvtár koncepciónak megfelelő implementálása esetén az eredeti OpenRTM-aist rendszer módosítása nélkül egyszerűen telepíthetők.*

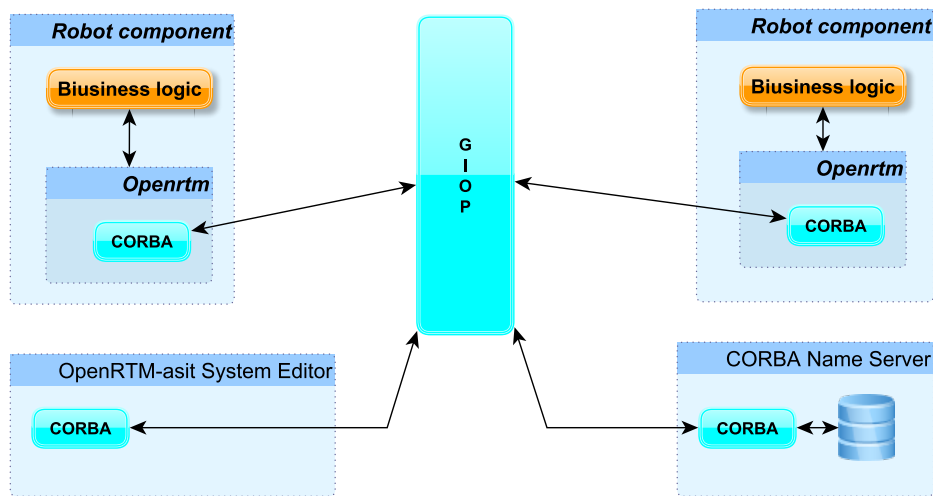
A helyi és osztott robot rendszerek fejlesztésére kialakult több keretrendszer koncepció, mellyel egyszerűen és gyorsan lehet összetett robot működtető rendszereket építeni, biztonságosan üzemeltetni. Ezek a robot keretrendszerek biztosítanak egy könnyen használható API-t (programozó interfész), melynek segítségével újrahasználható, szabványosított komponenseket készíthetünk, melyek között biztonságos, hibatűrő kommunikációs csatornák jönnek létre. A keretrendszer olyan mechanizmusokat, elemeket biztosít, amivel a komponensek egy átkonfigurálható rendszerbe szervezhetőek. Több elv jött létre az ilyen rendszerek építésére (ROS, ROSTA, MIRO, OPENRDK, OpenRTM-aist...), melyek közül az OpenRTM-aist rendszert tartom a legelőnyösebbnek, mert több operációs rendszert és több programozói nyelvet is támogat.

A nyílt forráskódú termék az RTC (Robot Technology Component) specifikáció implementációja. Ez a specifikáció egy nyílt szabvány, definiálja a robot komponensek szerkezetét, működését, és a kommunikáció módjait. A robot rendszerek nyílt specifikációja, és implementációja az OpenRTM-aist. Ez biztosítja a robot rendszereket

fejlesztő mérnököknek hogy csak a tényleges, újdonságot jelentő probléma programozásával kelljen foglalkozniuk, mint például képfeldolgozás, ütközés elkerülés, optimalizálási, szabályozási feladatok, és nem kell foglalkozniuk a rendszer többi elemeinek elérésével, hiszen ezt elvégzi az OpenRTM-aist transzparens módon.

*Az OpenRTM-aist rendszer sok problémát megoldott, azonban mind a fejlesztés, mind az üzemeltetés erősen függ a CORBA rendszertől. Ennek kiküszöbölésére tettem javaslatokat.*

Az eredeti rendszerben minden komponens közvetlenül a másikkal kapcsolódik CORBA protokoll segítségével, melynek felépítése az 5 ábrán látható:



5. ábra. Eredeti OpenRTM-aist rendszer felépítése

A CORBA protokoll helyett, ahol a rendszer lehetővé tette, bevezettem az ICE protokollt, áttervezve a rendszer felépítését.

Ezután a fejlesztőknek lehetőségük van ICE szervíz portokat létrehozni, mellyel minden ICE által bevezetett újdonság használható. Ilyen előnyök közé tartozik

- az UDP kommunikáció lehetősége,
- titkosított folyamatok, melyet csak konfigurálni kell,
- kisebb fejlesztéssel .NET támogatás is,
- egy-több kapcsolat minden irányban.

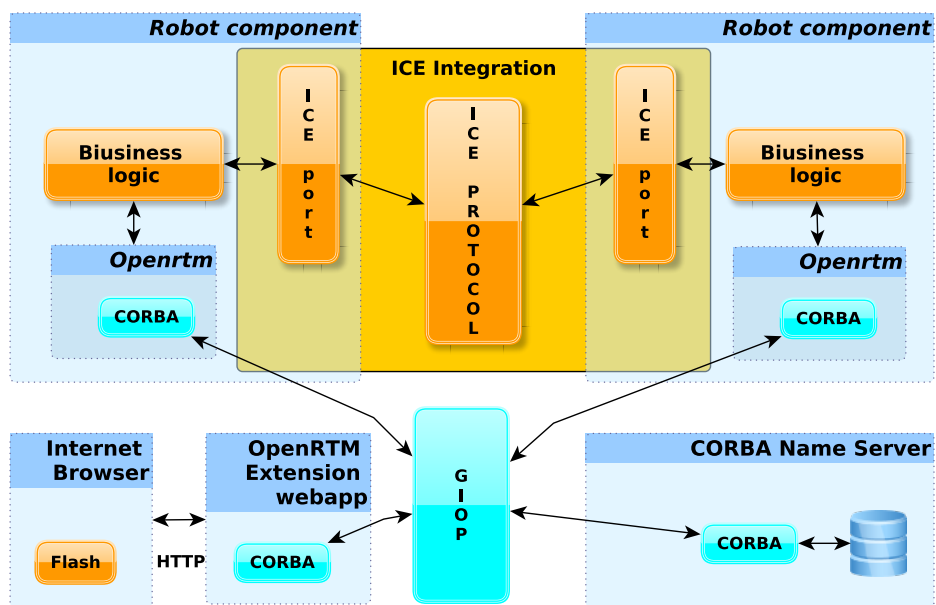
Hagyományos CORBA szervíz portok esetén a szolgáltatásokat publikáló komponens a szolgáltató (provider), amely egy interfészen keresztül osztja meg saját

módszereit a szolgáltatást használó fogyasztó (consumer) számára. Az eredeti rendszerben lehetséges volt több szolgáltatót egy fogyasztóhoz kapcsolni, azonban az egy szolgáltató több fogyasztó felépítés létrehozása nem támogatott. Kiterjesztéssel a továbbiakban ez is lehetségessé vált.

Másik jelentős előnye lett az új rendszernek, hogy a használatához nincs szükség a kliens oldalon semmilyen CORBA specifikus környezetre. A kliensek, amelyek régebben vastag kliensek voltak, az új rendszerben egy böngészőben futó vékony flash kliensek. A kliens és a robot rendszer közzé beillesztettem egy web alkalmazás réteget, melynek köszönhetően új szolgáltatásokat építhetünk az eredeti OpenRTM-aist rendszer módosítása nélkül, kiterjesztve azt, jelentős OpenRTM-aist ismeret nélkül.

Annak érdekében, hogy a felhasználói robot rendszer és annak robot komponensei offline módon is használhatók, menthetők és újra betölthetők legyenek, a javasolt struktúrát egy relációs adatbázissal is kiegészítettem.

A módosított rendszer struktúrája így jelentősen megváltozott, melyet a 6 ábrán láthatunk. Ezen új elveket sikeresen alkalmaztam a VirCA (Virtual Collaboration Arena) rendszer kifejlesztésekor, melyet az MTA SZTAKI fejlesztett ki, és a mai napig használatban van.



6. ábra. Az általam javasolt, módosított OpenRTM-aist rendszer felépítése

A kiterjesztett rendszerben futó komponensek és az új rendszer szerkesztő szerver oldali része továbbra is CORBA protokoll felett kommunikálnak, azonban két kom-

ponens között lehetőség van ICE protokollt használni. A két részből álló rendszer szerkesztő között HTTP protokoll szélesebb körben támogatott, mint a CORBA, és mivel a válasz minden esetben XML alapú, így mobil kliensek írására is lehetőség nyílt. Mindez oly módon lehetséges, hogy a régi (hagyományos OpenRTM-aist) komponensek az új rendszer esetében is használhatóak. Az áttérés CORBA szervíz portról ICE szervíz portra, a forráskód kis mértékű változtatását igényli, de ez csak egy osztály típus cseréjét jelenti egy adattag definícióban, a komponensekben futó üzleti logika számára ez a változás transzparens.



Az összefoglalt tudományos eredmények a Miskolci Egyetem Általános Informatikai Tanszékén folytatott kutatásokhoz kapcsolódnak. Az OpenRTM-aist kiterjesztésének köszönhetően a SZTAKI (Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet) kognitív informatika (jelenleg: 3D Internet-alapú Kontroll és Kommunikációs Kutató laboratórium) 2010-ben kiadta a VirCA első verzióját, ami a mai napig folyamatos fejlesztés alatt áll. A OpenRTM-aist rendszerébe illesztett web szintnek köszönhetően a VirCA szimulált 3D térben jelenik meg a grafikus rendszer szerkesztő. A VirCA komponensek a beinjektált ICE middleware által nyújtott szolgáltatásoknak köszönhetően képesek kiszolgálni speciális struktúrákat.

A VirCA rendszer elkészültének köszönhetően sikeresen zárult a HUNOROB , új, környezetbarát és versenyképes robot technológiák magyar-norvég kutatás alapú innovációja célcsoportok számára, (HU0045, 0045 / NA / 2006-2 / ÖP-9) és a NAP (KCKHA005, OMFB-01137 / 2008) projekt.

#### 4 TOVÁBBI KUTATÁSI FELADATOK

A disszertációban ismertetett területek mindegyikén jelenleg is folynak a kutatások.

Az FRI módszerek területén már régóta hiányzik egy egységes benchmark rendszer. A felhasználóknak több FRI módszer is rendelkezésére áll, melyek között akad kevésbé dokumentált is. Megnehezíti az FRI módszerek felhasználását az is, hogy használatuk némi jártasságot igényel. Egy alkalmas benchmark rendszer segítségével valamely konkrét probléma megoldását tekintve közvetlenül összevethetőek lennének az egyes FRI módszerek.

A robot keretrendszerek területén mind a végfelhasználók, mind a robot komponens programozók részéről igény mutatkozik újabb funkciók bevezetésére. Az ontológia alapú robot komponens osztályozás nagyban megkönnyítené az egyes komponensek összevetését, kompatibilitás ellenőrzését és keresését. A rendszer így olyan robot komponens brókerrel bővíthetne, amely az esetleg éppen nem elérhető komponens helyett automatikusan más, a kieső komponenssel funkcióit helyettesítő képességű komponenst ajánlhatna. Alkalmas komponens csoportosítás esetén több komponensből álló összetett funkciók, esetleg teljes robot rendszerek lennének hivatkozhatók a határ komponensek funkcióinak meghatározásával és kiválasztásával.

## 5 SUMMARY

The new scientific results are summarized by the following:

### *Thesis 1*

*The "Double Fuzzy Point Methodology" (GDFPM) is introduced, which can be applied as a guideline for the adaptation of the double fuzzy point representation in any two-step FRI method.*

*GDFPM replaces the single-rule reasoning step of the original two-step method with a new "fuzziness similarity ratio preservation reasoning" step. Two solutions are proposed for the "fuzziness similarity ratio preservation reasoning" step: one which is based on the "Least Squares Method" ("LESFRI"), and another which applies the "Polar  $\alpha$ -cut" interpolation ("FRIPOC") concept. The guideline formulated based on these results suggests an extension that is based on the Fuzzy Rule Pair which defines the valid domain. The common methodology has twice as much space complexity as the original method, however, time complexity does not change significantly. Compared to the original two-step FRI method, the first step of the proposed GDFPM approach consists of the generation of a temporal interpolated double fuzzy point rule (this is a pair of rules: one for each of the fuzzy rule sets  $R^p$  and  $R^q$ ) in the position of the observation. The second step of the proposed GDFPM approach consists of the determination of the conclusion based on the observation ( $A^*$ ) and the temporal interpolated double fuzzy point rule ( $A_i^{p,q} \rightarrow B_i^{p,q}$ ).*

Related publications: [C1](#), [C4](#), [C7](#)

### *Thesis 2*

*A pre-evaluation concept is proposed for IEC and CBIDE systems, and the FIVE FRI model is successfully applied as a pre-evaluator component.*

*The new pre-evaluation concept supports the evaluating user by improving the evaluation comfort. The pre-evaluation mechanism offers an approximated best individual, which can either be accepted or disregarded by the user. If the pre-selected item is accepted by the user*

*then the IEC process requires less user intervention than would be necessary for the evaluation itself. The problem of modeling the opinions and creating a model of the fitness function is a much more difficult task, as IEC applications usually involve high dimensionalities, and user feedback is very rare, covering only an infinitesimal small part of the model space. Additionally, I proposed a topology for pre-evaluated IEC systems in the VirCA environment, allowing the user to perceive pairs of examples in a multi-sensory environment in a way that appeals to human cognitive capabilities.*

Related publications: [C3](#), [C5](#), [C6](#), [C8](#) , [C14](#), [C15](#), [C16](#)

### *Thesis 3*

*I have introduced an extension to the OpenRTM-aist robot middleware framework that allows for CORBA-free operation.*

*The improvement is accomplished through the use of two existing technologies, i.e., through the integration of the ICE communication framework with OpenRTM-aist, and through the injection of a web application tier into CORBA based robot systems. The introduced web tier has resulted in a new lightweight web browser based system editor. Through the integration of ICE, new functionalities have been introduced to the system, e.g., authentication, authorization, support for offline components, save/load functionalities for robot systems and encrypted communication channels between end-users and the web application. The end-user client of the new editor is a simple web browser which does not require the installation of any special application, such as the CORBA library or Eclipse (both were required for the original system editor). The new editor is built upon the infrastructure of web applications, therefore it supports component sharing in a trusted and controlled way.*

*ICE integration was carried out by extending the existing OpenRTM-aist robot middleware without its modification. A new ICE based service port was introduced, which has the same interface as CORBA-based ports in order to simplify the developer's work. Programmers need to invest less effort when using the new, ICE-based port because of the simple programming model used by the ICE communications framework. New features supported by the extended system are the follows: encrypted communication between ICE service ports, one-way communication between service ports, and single-consumer multi-provider topology. The extension was easily*

*added to the unmodified version of the original robot middleware, allowing for original features to be left unchanged for backwards compatibility.*

Related publications: [C2](#), [C9](#),[C10](#), [C11](#), [C12](#), [C13](#), [C17](#), [C18](#)

*Nemzetközi folyóiratban megjelent, lektorált idegen nyelvű publikáció*

- C<sub>1</sub> Z. Krizsán, Sz. Kovács. Double Fuzzy Point Extension of the Two-step Fuzzy Rule Interpolation Methods. *Acta Polytechnica Hungarica*, volume 10, number 5 pp. 175-190, 2013. (ISSN 1785-8860) **If: 0.59**
- C<sub>2</sub> Z. Krizsán, Sz. Kovács. Structural Improvements of the OpenRTM-aist Robot Middleware. *Applied Computational Intelligence in Engineering and Information Technology*, Springer-Verlag, volume 1, pp. 287-300, 2012. (ISSN 978-3-642-28305-5, ISBN 978-3-642-28304-8)
- C<sub>3</sub> Z. Krizsán, Sz. Kovács. Gradient Based Consequent Optimisation of a FRI Rule Base. In *Production Systems and Information Engineering 2008*, volume 5, pp. 177-188, 2009. (HU ISSN 1785 1270)
- C<sub>4</sub> Z. Krizsán. Complexity Examination of SURE-P, SURE-LS and REVE Single Rule Reasoning Methods. In *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, volume 3, pp. 195-200, 2007. (ISSN 1584-2673)

*Hazai folyóiratban megjelent, lektorált magyar nyelvű publikáció*

- C<sub>5</sub> Z. Krizsán, Sz. Kovács. Közös fejlesztői keretrendszer fuzzy szabály interpolációs módszerekhez. *A gépipari tudományos egyesület műszaki folyóirata (GÉP)*, volume LXIII, number 5, pp 75-78, 2012. (ISSN 0016 8572)

*Nemzetközi konferencia kiadványban megjelent, lektorált idegen nyelvű publikáció*

- C<sub>6</sub> Z. Krizsán, Sz. Kovács. Fuzzy Model based Differential IEC for Human-System Interaction in the VirCA Environment. *3rd IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom 2012)*, IEEE, pp. 169-173, 2012

C7 Z. Krizsán, Sz. Kovács. Double Fuzzy Dot Extension of the FRIPOC Fuzzy Rule Interpolation Method. *4th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (LINDI 2012)*, IEEE, pp. 191-196, 2012

Hivatkozta:

a) Z.C Johanyák: New Initial Fuzzy System Generation Features in the SFMI Toolbox, *5th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (LINDI 2013)*, Wildau, Germany, September 5-7, pp. 29-34, 2013

C8 Z. Krizsán, Sz. Kovács. Fuzzy Rule Interpolation Developer Toolbox Library. *IEEE 7th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2012)*, IEEE, pp. 119-123, 2012

C9 Z. Krizsán, Sz. Kovács. Name Service Redundancy in Robot Technology Middleware. *In 10th IEEE Jubilee International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2012)*, IEEE, pp. 219-222, 2012

C10 Z. Krizsán, Sz. Kovács. Extending the RT-Middleware Framework with ICE Service port. *In 2nd International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom2011)*, pp. 1-5, 2011

C11 Z. Krizsán, Sz. Kovács. The VirCa System Editor in 3D space. *In 2nd International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom2011)*, pp. 1-3, 2011

C12 Z. Krizsán, Sz. Kovács. Some Structural Improvements of the OpenRTM Robot Middleware. *In 12th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2011)*, IEEE, pp. 345-350, 2011

Hivatkozta:

a) Ma, Q., Zou, Y., & Zhang, T. Study of service robot architecture based on middleware and abstract environment. *In Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2012 IEEE International Conference on (pp. 1200-1205). IEEE, (2012, December)

C13 Z. Krizsán. ICE Extension of RT-Middleware Framework. *In 10th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2009)*, IEEE, pp. 513-521, 2009

Hivatkozta:

- a) Galambos, P., & Baranyi, P. Virca as virtual intelligent space for rt-middleware. In *Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, 2011 IEEE/ASME International Conference on (pp. 140-145). IEEE. (2011, July)
- C14 Z. Krizsán, Sz. Kovács. FRI Model based Pre-evaluation in IEC. In *5th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2009)*, pp. 35-40, 2009
- Hivatkozta:
- a) Lorencik, D., Vascak, J., & Vircikova, M. Adaptive Fuzzy Cognitive Maps Using Interactive Evolution: A Robust Solution for Navigation of Robots. In *Robot Intelligence Technology and Applications 2012* (pp. 703-711). Springer Berlin Heidelberg. 2012
- C15 Z. Krizsán. Uniform Complexity of FEAT-p and FEAT-LS Fuzzy Set Interpolation Methods. In *MicroCad 2008*, pp. 83-88, 2008
- C16 Z. Krizsán, Sz. Kovács. Gradient Based Parameter Optimisation of FRI "FIVE". In *9th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2008)*, pp. 531-538, 2008
- Nemzetközi konferencia kiadványban megjelent, nem lektorált idegen nyelvű publikáció*
- C17 Z. Krizsán, Sz. Kovács. Structural Improvements of the OpenRTM Robot Middleware. In *Doktoranduszok Fóruma 2011*, pp. 72-78, 2011
- C18 Z. Krizsán, P. Galambos. VirCa System Editor. In *HUNOROB Closing conference 2011*, pp. 1-4, 2011



## HIVATKOZÁSOK

- [1] Lotfi A Zadeh. Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3):338–353, 1965.
- [2] L. T. Kóczy and K. Hirota. Rule interpolation by  $\alpha$ -level sets in fuzzy approximate reasoning. *BUSEFAL*, 46(Automne):115–123, 1991.
- [3] Peter Baranyi, Domonkos Tikk, Yeung Yam, Laszlo T Koczy, and Laszlo Nadai. A new method for avoiding abnormal conclusion for  $\alpha$ -cut based rule interpolation. In *Fuzzy Systems Conference Proceedings, 1999. FUZZ-IEEE'99. 1999 IEEE International*, volume 1, pages 383–388. IEEE, 1999.
- [4] Sz. Kovács and L.T. Kóczy. Approximate fuzzy reasoning based on interpolation in the vague environment of the fuzzy rule base as a practical alternative of the classical CRI. In *Proceedings of the 7th International Fuzzy Systems Association World Congress, Prague, Czech Republic*, pages 144–149, 1997.
- [5] Kok Wai Wong, Tamás D Gedeon, and Domonkos Tikk. An improved multidimensional  $\alpha$ -cut based fuzzy interpolation technique. In *Proc. Int. Conf Artificial Intelligence in Science and Technology (AISAT'2000), Hobart, Australia*, pages 29–32, 2000.
- [6] Gy Vass, L Kalmár, and LT Kóczy. Extension of the fuzzy rule interpolation method. In *Proc. Int. Conf. Fuzzy Sets Theory Applications (FSTA'92), Liptovsky M., Czechoslovakia*, pages 1–6, 1992.
- [7] Péter Baranyi, László T Kóczy, and Tamás D Gedeon. A generalized concept for fuzzy rule interpolation. *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 12(6):820–837, 2004.
- [8] Zhi Qiao Wu, Mizumoto Masaharu, and Yan Shi. An improvement to kóczy and hirota's interpolative reasoning in sparse fuzzy rule bases. *International Journal of Approximate Reasoning*, 15(3):185–201, 1996.
- [9] Zhiheng Huang and Qiang Shen. Fuzzy interpolation with generalized representative values. 2004.

- [10] Zsolt Csaba Johanyák and Szilveszter Kovács. Fuzzy rule interpolation based on polar cuts. In *Computational Intelligence, Theory and Applications*, pages 499–511. Springer, 2006.
- [11] Zsolt Csaba Johanyák and Szilveszter Kovács. Fuzzy rule interpolation by the least squares method. In *7th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence (HUCI 2006)*, pages 495–506, 2006.
- [12] S Jenei. Interpolation and extrapolation of fuzzy quantities revisited—an axiomatic approach. *Soft Computing*, 5(3):179–193, 2001.
- [13] Sz. Kovács. Extending the concept of fuzzy rule interpolation with the interpolation of the fuzziness. *Proceedings of the WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, pages 1106–1113, June 2012.
- [14] H. Takagi et al. Interactive evolutionary computation: Fusion of the capabilities of ec optimization and human evaluation. *Proceedings of the IEEE*, 89(9):1275–1296, 2001.
- [15] A.E. Kanlıkılıçer. Interactive differential evolution for facial composite generation. *Genetic and Evolutionary Computation (GECCO), Seattle, USA*, 2006.
- [16] H. Takagi and D. Pallez. Paired comparison-based interactive differential evolution. In *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on*, pages 475–480. IEEE, 2009.
- [17] P. Baranyi and A. Csapo. Definition and synergies of cognitive infocommunications. *Acta Polytechnica Hungarica*, 9:67–83, 2012.
- [18] Robot technology component specification website. <http://www.omg.org/robotics/>.
- [19] Daniele Calisi, Andrea Censi, Luca Iocchi, and Daniele Nardi. Openrdk: a modular framework for robotic software development. In *Intelligent Robots and Systems, 2008. IROS 2008. IEEE/RSJ International Conference on*, pages 1872–1877. IEEE, 2008.
- [20] Openrdk robot middleware website. <http://openrdk.sourceforge.net/>.

- [21] Paul Fitzpatrick, Giorgio Metta, and Lorenzo Natale. Towards long-lived robot genes. *Robotics and Autonomous systems*, 56(1):29–45, 2008.
- [22] Yarp robot middleware website. <http://eris.liralab.it/yarpdoc/index.html>.
- [23] Morgan Quigley, Ken Conley, Brian Gerkey, Josh Faust, Tully Foote, Jeremy Leibs, Rob Wheeler, and Andrew Y Ng. Ros: an open-source robot operating system. In *ICRA workshop on open source software*, volume 3, 2009.
- [24] Noriaki ANDO. Openrtm-aist robot middleware website. <http://openrtm.org>.
- [25] Noriaki Ando, Takashi Suehiro, Kosei Kitagaki, Tetsuo Kotoku, and Woo-Keun Yoon. Rt-middleware: distributed component middleware for rt (robot technology). In *Intelligent Robots and Systems, 2005.(IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on*, pages 3933–3938. IEEE, 2005.