

Multi-ágens rendszerek, formális nyelvi alapon - Interjú Csuhaj Varjú Erzsébettel

Csuhaj Varjú Erzsébet a KLTE matematikus szakán végzett 1977-ben. 1993-tól a matematika tudomány kandidátusa, 2003-tól az MTA doktora. 1979 óta dolgozik a SZTAKI-ban. Jelenleg az intézet tudományos tanácsadója, az Elméleti Számítástudományi Kutatócsoport vezetője. Érdeklődési köre szerteágazó, a formális nyelvektől a természet által motivált kiszámítási modellekig az elméleti számítástudomány több határterületére kiterjed. Ezen területek között a mesterséges intelligencia kutatásához kapcsolódó területek is vannak.

-Matematikusként kezdte. Mennyire határozza meg a matematikus-szemlélet az MI területén folytatott kutatásait?

- Engedje meg, hogy először pontosítsak. Nem az MI területén végeztem és végzek jelenleg is kutatásokat, hanem többek között az elméleti számítástudomány olyan részterületein is, amelyek indíttatásául az MI egyes, az érdeklődés középpontjában álló problémái állnak. Így például foglalkozom multi-ágens rendszerek formális modellezésével, az osztott kooperatív rendszerek és viselkedésük szintaktikai jellemzőinek vizsgálatával. Mint matematikus törekszem arra, hogy minél pontosabb, egzaktabb megközelítéseket adjak, illetve, hogy minél pontosabban és meggyőzőbben írjam le ezen rendszerek lényegét, általános és /vagy közös jellemzőit absztrakt eszközökkel. Így nemcsak matematikusként kezdtem, hanem az

is vagyok, olyan matematikus, akinek szakterülete az elméleti számítástudomány és annak egyes határterületei.

- Érdeklődési köreként a formális nyelvek elméletét, a multi-ágens, illetve osztott és a kooperatív rendszereket, a természet-motivált számítástudományt, valamint a természetes nyelvek gépi feldolgozását jelölte meg. Milyen pontokon kapcsolódnak ezek egymáshoz?

- A formális nyelvek elméletén keresztül, amelynek eszköztárát használom multi-ágens rendszerek, valamint biológiai indíttatású rendszerek és viselkedésük leírására, illetve ezen eszközök használhatóságát szeretném tanulmányozni a természetes nyelvek matematikai (formális) modellezésében.

A formális nyelvek elmélete a számítástudomány egyik legrégebbi, tradicionális ága. Talán megengedik nekem azt az egyszerűsítést, hogy azt mondjam, ez az elmélet szimbólumsorozatok –azaz szavak-, a belőlük alkotott halmazok -azaz nyelvek-, valamint nyelvosztályok leírásával és tulajdonságaival foglalkozik. A nyelvek meghatározása többféle módon történhet. Például Turing gépek segítségével, amikor a Turing gépek által elfogadott nyelvekről beszélünk, de történhet ún. grammatikák segítségével is, amikor egy véges elemből álló szabályrendszert adunk meg, amely szabályok megfelelő alkalmazásával egy adott szóból kiindulva a nyelv minden egyes szavát előállíthatjuk, de más, a nyelvhez nem tartozó szavakat nem.

Ezek a grammatikák, vagy szabályrendszerek a nyelv meghatározásának egyik természetes módját jelentik. Gondoljunk csak arra, hogy a természetes nyelvek sajátosságaiból kiindulva

vonatkoztatta el Noam Chomsky a generatív grammatika fogalmát, amely felismerés és fogalomalkotás a formális nyelvek tudományágának egyik kiindulópontja lett. Könnyen mondhatja valaki erre, hogy valóban, a természetes nyelvek modellezésében elképzelhető valamiféle létjogosultsága ennek a megközelítésnek. De miféle alapja lehet annak a gondolatnak, hogy multi-ágens rendszerek leírására használjunk nyelveket és grammatikákat. A válasz erre a következőkben foglalható össze.

Az ágenseket, amelyek lehetnek tudásforrások, biológiai egyedek, vagy egyéb más, viselkedést mutató entitások leírhatjuk, modellezhetjük az őket működtető szabályok együttesével.

(Természetesen, ezek a szabályrendszerek sohasem a teljesség igényével adóttak, hanem valamilyen szempontból elvonatkoztatott, egyszerűsített szabályokról van szó). A szabályhalmazok, azaz a grammatikák működésük során szavakat határoznak meg, amely szavakat úgy tekintjük, mint az ágensek és adott környezetük viselkedésének leírását. Ily módon szintaktikai eszközökkel jellemezni tudjuk egy ágensközösség, egy multi-ágens rendszer viselkedését, le tudjuk írni sajátosságait.

Meg kell jegyezni, hogy a szabályokat a legáltalánosabb értelemben vesszük: a programnyelvek utasításaitól kezdve a biológiai egyedek fejlődését, illetve viselkedését leíró (egyszerűsített és formalizált) szabályokat is beleértve.

Ez a gondolat, vagyis, hogy a multi-ágens rendszereket, illetve viselkedésüket leírhatjuk együttműködő grammatikák segítségével, vezetett a formális nyelvek

„grammatikarendszerek” elnevezésű, elismert tárgykörének

kiépítéséhez, amely területnek egyik elindítója és meghatározó művelője voltam és jelenleg is vagyok. Azt mondhatjuk, hogy a grammatikarendszerek elmélete nem egyéb, mint a multi-agens rendszerek elméletének formális nyelvi, szintaktikai megfelelője.

- Milyen kutatásokat végzett a formális nyelvek, valamint a természetesnyelv-feldolgozás terén?

- A természetes nyelvek gépi feldolgozása területén konkrét kutatásokat nem végeztem, néhány dolgozatot írtam a természetes nyelvek matematikai modellezése tárgykörében – bár tervezek kutatásokat a jövőben. Szerzőtársaimmal együtt azt vizsgáltam, hogyan alkalmazhatók az előbb említett grammatikarendszerek tárgykör eszközei a pragmatikában, a dialógusok, illetve az együtt élő kulturális, nyelvi közösségek viselkedésének modellezésében.

A formális nyelvek elméletében kiterjedt kutatásokat végeztem. Mint már az előbb említettem, egyik elindítója voltam a grammatikarendszerek elméletének, amelyet számos modellel és meghatározó eredménnyel gazdagítottam szerzőtársaimmal együtt.

Az elmélet kiindulópontjául az általam és Jürgen Dassow szerzőtársam által 1988-ban bevezetett kooperatív osztott grammatikarendszer fogalmát tekinthetjük, amely nem egyéb, mint az MI-kutatásból jól ismert tábla-architektúra egyik formális modellje. A tábla típusú problémamegoldó rendszerek esetében független, egymással közvetlenül információt nem cserélő ágensek úgy oldanak meg egy kitűzött problémát, hogy egy együttműködési protokoll előírásait követve felváltva módosítják egy közös adatbázis, az ún. tábla tartalmát. Ez az adatbázis

tartalmazza minden időpillanatban a problémamegoldás folyamatára, illetve a megoldásra vonatkozó információkat. Az általunk bevezetett modellben az ágenseket grammatikákkal, a tábla tartalmát egy, a grammatikák által az együttműködési protokoll szerint időről-időre módosított szóval jellemezzük. A kooperatív osztott grammatikarendszer fogalma inspirálólághatott más kutatókra is, amely új modellek, kutatási irányok megjelenéséhez vezetett. Az eszköztár használhatónak bizonyult tudáshálózatok szintaktikai jellemzésére, de segítségével egyszerű reaktív rendszerek, vagy a mesterséges élet különböző paradigmái is modellezhetők voltak formális nyelvi eszközökkel. Meg kívánom Jürgen Dassow mellett említeni Gheorghe Paun, Jozef Kelemen, illetve Alica Kelemenová kollégáinkat, akiknek tőlünk külön vagy velünk együtt alapvető modellek létrehozását köszönhetjük, és akik számos fontos koncepcionális eredménnyel járultak hozzá a terület fejlesztéséhez. Ugyancsak meg szeretném említeni Vaszil György kollégámat, korábbi PhD-tanítványomat, aki jelentős munkásságot fejtett ki a grammatikarendszerek hálózatokat modellező részterületén.

A grammatikarendszerek elméletét egy nagyobb nemzetközi közösségen belül fejlesztettük ki elismert tárgykörre. Az érdeklődő olvasó csoportunk honlapján talál hasznos információkat (<http://www.sztaki.hu/tcs/>).

A történeti hűség kedvéért meg kell jegyezni, hogy a kooperáló grammatikát, mint terminológiát 1978-ban Grzegorz Rozenberg és Robert Meersman használták először, többszintű grammatikák, illetve konkurens operációs rendszerek modellezésére egy nemzetközi konferencián publikált dolgozatukban. A kutatásokat azonban nem folytatták. 1988-ban észrevettem, hogy az általuk

bevezetett fogalom általánosítható, alkalmazható az osztott kooperatív rendszerek modellezésére. Ez a felismerés vezetett a kooperatív osztott grammatikarendszer fogalmának bevezetéséhez.

Az utóbbi időben a molekuláris számítástudomány modelljeivel is foglalkozom. Így például a DNS rekombinációs viselkedését utánozó műveletekre alapozott osztott struktúrák, a kémcsőrendszerek elméletével és a membrán kiszámítások elméletével. Ez utóbbi egy rendkívül dinamikusan fejlődő, nagyon pozitív nemzetközi visszhanggal rendelkező terület, amelyet Gheorghe Paun indított el 1998-ban. Ezen kutatásokat vele és más külföldi társainkkal együtt műveljük Vaszil György kollégámmal együtt.

Nagy megtiszteltetés számomra az, hogy mind DNS kiszámításhoz kapcsolódóan, illetve a grammatikarendszerek egyes hálózat típusú modelljeinek területén együtt dolgozhatom Arto Salomaa professzor úrral, aki az elméleti számítástudomány, a formális nyelvek elméletének kimagasló, meghatározó alakja – többek között a Magyar Tudományos Akadémiának is tiszteletbeli tagja.

Munkásságom a formális nyelvek elméletén belül még egy nagyobb tárgykörhöz kapcsolódik: az úgynevezett leírási bonyolultság elméletéhez (*descriptive complexity*), ami azt vizsgálja, hogy a nyelvosztályokat meghatározó eszközök – grammatikák vagy automaták – mennyire tömör leírását tudják adni a vizsgált nyelvosztály elemeinek. Megpróbálom a nyelvosztály elemeit előállító grammatikák paramétereit minimalizálni – ha ez lehetséges egyáltalán -, meghatározni, mire van szüksége a megfelelő grammatika osztálynak az adott

kiszámítási erő eléréséhez. Ezek a kérdések azért érdekesek a multi-ágens rendszerek elmélete szempontjából, mert tulajdonképpen azt vizsgáljuk, hogy nagyon egyszerű, korlátozott méretű ágensek együttese mennyire bonyolult nyelvet, viselkedést tudnak meghatározni. Mennyire egyszerűsíthető le az ágens formális modellje ahhoz, hogy még alkalmas legyen bonyolult viselkedésű ágensközösségek leírására?

- Mennyire?

-Attól függ. A grammatikarendszerek elméletében számos nagyon érdekes eredmény található. Ilyen például Lucian Ilie és Arto Salomaa eredménye, amely kimondja, hogy a véges automatáknak megfelelő reguláris grammatikák bizonyos típusú – utasításra szűrőkön át információt cserélő komponensekkel rendelkező – hálózatai esetében már a három együttműködő grammatikából álló rendszerek is alkalmasak a Turing gépek kiváltására. A reguláris grammatikák pedig köztudottan rendkívül egyszerűek. Ha az információcsere nem utasításra, hanem igény szerint történik, akkor is hasonló a helyzet. Vaszil György kollégámmal megmutattuk, hogy a párhuzamosan dolgozó és igény szerint kommunikáló környezetfüggetlen grammatikák hálózatai a Turing gépekkel egyenlő erejű kiszámítási eszközök, sőt, még olyan grammatikákból álló csoportok is képesek ezt az erőt felmutatni, ahol a grammatikák legfeljebb hét szabállyal rendelkeznek. Ha a szabályok számát nem korlátozzuk, akkor a hálózat elemeinek számát korlátozhatjuk egy kis konstanssal. A környezetfüggetlen grammatikák szintén viszonylag kiszámítási erőt képviselnek.

**- A korábbi nevén Multi-ágens Rendszerek Modellezése
Kutatócsoportot, azaz a mai Elméleti Számítástudományi
Kutatócsoportot vezeti.**

1997-ben adódott az önálló csoport létrehozásának lehetősége. Egyik volt tanítványommal, a kiváló kutató Vaszil Györggyel jelenleg ketten vagyunk törzstagok, de a csoport létszáma időről-időre változik, hiszen hazai és külföldi PhD-hallgatók csatlakoznak hozzánk.

Így kitűnő tanítványom és munkatársunk volt Csimá Judit, aki jelenleg a Műegyetemen adjunktus, Maríá Dolores Jiméneiz-López, aki jelenleg a tarragonai Rovira I Virgili Egyetem (Spanyolország) tanára, valamint Maurice H. ter Beek Hollandiából, aki először, mint diplomamunkáját író végzős egyetemi vendéghallgató, majd, mint ERCIM ösztöndíjas posztdoktor dolgozott csoportunkban. Jelenleg a pisai CNR kutatóintézetben tudományos munkatárs.

Csoportunk kiterjedt nemzetközi kapcsolatrendszerrel rendelkezik, rendszeresen ellátogatnak hozzánk hosszabb-rövidebb időre külföldi kollégáink közös kutatás céljából. Nagyon fontosnak tartom azt, hogy ne csak a hazai kutatók utazzanak külföldi tanulmányutakra, hanem fordított irányú áramlás is legyen, azaz építsünk ki olyan kutatóhelyeket, teremtsünk olyan feltételeket, hogy a külföldi kutatók is örömmel látogassanak el hozzánk. Különösen fontos ez most, hogy hazánk, Magyarország az Európai Unió tagja lett. Természetesen, intenzív kapcsolatban állunk a hazai kutatóhelyekkel, egyetemekkel is. Időről-időre tanítunk, jómagam pedig az ELTE Informatikai Doktori Iskolájában is aktívan tevékenykedem, tagja

vagyok a doktori tanácsnak, és egyike vagyok az iskola külső alapító tagjainak.

- Mely eddigi projektjeit tartja a legjelentősebbeknek?

- Minthogy alapkutatóval foglalkozunk, talán nem használnám a projekt szót, inkább támogatott kutatási programokról beszélnék. Munkáinkat támogatta, és jelenleg is támogatja az OTKA, tagjai vagyunk egy ún. EU-támogatott tematikus hálózatnak a molekuláris számítástudomány tárgykörében, több, kétoldalú kormányközi egyezmény alapján meghirdetett kutatási támogatásban is részesültünk. Intézetünk az EU Centre of Excellence címet kapta meg 2000-ben, és ebben a kutatási programcsomagban is részt veszünk egy résztéma erejéig. Azt mondanám inkább, hogy legjelentősebbnek azt tartom, hogy grammatikarendszerek tárgykörét sikerült a formális nyelvek elméletének egy elismert területévé fejleszteni, és sikerült számos értékes és érdekes modellel, eredménnyel hozzájárulni a formális nyelvek elméletének fejlődéséhez, olyan eredményekkel, amelyek kapcsolódási pontot jelentenek és jelenthetnek más tudományágakhoz, így a mesterséges intelligencia kutatásához is. Ugyancsak fontosnak tartom a molekuláris számítástudomány területén kifejtett munkásságunkat is.

- Hogyan látja az ágens kutatás jelenlegi helyzetét, illetve az Önök szerepét ebben a helyzetben?

- Az ágens kutatás egészéről nem nyilatkoznék, mivel erről nincs teljes átlátásom. Úgy gondolom, a mi kutatásainkban még számos lehetőség rejlik. Rendkívül egyszerű – és ezáltal akár egyszerűen megtanulható, felfogható – gépek, vagy szoftverek

alapjait igyekszünk meghatározni. Az esetek egy részében segítségükkel mégis rendkívül bonyolult feladatokat lehet megoldani. Így kutatásainknak nemcsak az elméleti vonalában látok perspektívákat, hanem az alkalmazásaiban is. Szorosabb együttműködés más tudományterületek, például az evolúciós számítástudomány, a robotika művelőivel pontosabb modellek megalkotásához vezetne, és megnyitná az utat a számukra is közvetlenül használható eszköztár kiépítéséhez. Ugyanez vonatkozik a természetes nyelvek gépi feldolgozására, például a többnyelvű környezetben való kommunikációt támogató szoftverek kiépítésére.

Vizsgálataink új típusú kiszámítási modellek létrehozásához járulnak hozzá, amelyek inspirálólag hathatnak a más tudományágakkal foglalkozó kutatókra.

Hadd említsem meg, hogy a formális nyelvek elméletében egészen a nyolcvanas évekig általában, sőt, majdnem kizárólagosan arra törekedtek, hogy egy nyelvet egy eszközzel – grammatikával vagy automatával – határozzanak meg. Ez a felfogás megfelelt annak az elképzelésnek, hogy a kiszámításokat egy, nagyon hatékony processzor, kiszámító eszköz segítségével vigyék végbe. Így látható, hogy a formális nyelvek elméletében az a gondolat, hogy esetleg több grammatika együttműködve és egymással információt cserélve határozzon meg egy nyelvet, koncepcionálisan újszerű volt. A fogalom kialakítását és elfogadtatását azonban nagyban inspirálta és segítette az a tény, hogy megjelentek a számítógép-hálózatok, realitássá vált a számítógépen végzett, osztott, kooperatív munka.

- Jelenlegi projektjeikben – MolCoNet, biológiailag inspirált számítások, molekuláris számítások elosztott modelljei – fontos szerepet játszik a biológia.

- A biológiai indíttatású kiszámítási modellek a jelenkori számítástudomány érdeklődésének homlokterében állnak. Céljuk az, hogy az élő szervezetek vagy azok alkotórészeinek működési elveit, viselkedését utánozva, nagy hatékonyságú, a hagyományostól eltérő elveken működő kiszámítási eszközöket hozzanak létre, illetve új megvilágításba helyezve azt, a kiszámítás fogalmának pontosabb megértéséhez jussanak.

Két fő témakörrel foglalkozunk ezen a területen. Az első terület az úgynevezett membrán kiszámítások elmélete, amely az élő sejt felépítését és működését utánozni próbáló kiszámítási modellek elmélete. A kiszámítási eszköz, az ún. membrán rendszer egy osztott architektúra, amelyben az egyes komponensek és szabályaik formális nyelvi műveletekkel vannak reprezentálva. Az architektúra felépítésében megfelel a sejt membrán struktúrájának, az egyes komponensek pedig szabályaik segítségével szavakból álló multi-halmazokon végeznek műveleteket. (A multihalmaz esetében egy szó több példányban is előfordulhat a szavakból álló együttesben). A szavak (bio)-kémiai alkotórészeknek, a műveletek kémiai reakcióknak felelnek meg. A szavak közlekednek az egyes komponensek között, hasonlóan a sejtekben lezajló folyamatokhoz.

Ugyancsak végzünk kutatásokat a DNS kiszámítás területén is. A DNS széttörésének és újrakombinálásának elvei alapján, elveit imitáló formális nyelvi műveletekre alapozott kiszámítási eszközöket hozunk létre és vizsgáljuk tulajdonságait. A DNS-szálak szavakkal is reprezentálhatók, így a formális nyelvi

megközelítések megalapozottak. Elsősorban úgynevezett kémcsőrendszereket, azaz, ezen eszközökből épített osztott rendszereket tanulmányozunk, amelyek egy része a Turing gépekkel egyenlő kiszámítási erejű eszközt képvisel.

Bár kiindulásukban különböznek, sem a membrán rendszerek, sem a kémcsőrendszerek alapvető konstrukciós elveikben nem különböznek a grammatikarendszerektől – osztott architektúrák, amelyek komponensei formális nyelvi műveletekre alapozott kiszámítási eszközök.

- Miben látja a kutatásfejlesztési projektek sikerének, eredményességének titkát?

-Csak az alap kutatás területén végzett kutatásokról tudok nyilatkozni, de megvallom nem szívesen teszem. Már az is kérdéses, mikor mondhatjuk, hogy egy alap kutatás sikeres. Inkább azt mondanám, hogy a sikeresség feltételei között feltétlen ott van az újszerű gondolat és/vagy látásmód, az elmélyült gondolkodás, a kitartó munka, és a szerencse.

Természetesen a sikeresség rövidtávon nem ítélni meg ebben az esetben.

- Ha visszamehetnénk az időben, és most lenne egyetemista, mivel foglalkozna legszívesebben? Milyen témakörben kutatási területben látna komoly perspektívát?

- Hogy mivel foglalkoznék legszívesebben, nem tudom, mivel bele kellene illeszkednem egy mai fiatal gondolkodás- és érzésvilágába. Viszont minden egyetemistának szívesen ajánlom figyelmébe szakterületemet, az elméleti számítástudományt és határterületeit, mert olyan érdekesek. Az utóbbi évtized számos

izgalmas új terület megjelenését hozta magával, de nem szeretnék az ezen területek hosszú távú jövőjét illetően jóslásokba bocsátkozni.

- Milyen alapelveket érdemes képviselni ahhoz, hogy a csúcstechnológiai kutatásokban komoly eredményeket érjünk el?

- Ehhez a kérdéshez inkább nem szólnék hozzá, mivel kutatásaim nem technológiai jellegűek.

Végül engedje meg, hogy megköszönjem az interjút.

<http://www.sztaki.hu/~csuhaj> (Csuha-Varjú Erzsébet),

<http://www.sztaki.hu/tcs> (SZTAKI, Theoretical Computer Science Research Group)