Automaták, fák és logika
T 46686, 2003-2007
záróbeszámoló

<u>a) Folyóiratokban, konferencia-kiadványokban megjelent vagy elfogadott cikkek.</u>

1) Bloom, S. L.; Ésik Z.: ***The equational theory of regular words***, Information and Computation, 197: 55-89., 2004

A dolgozatban a szerzők megoldottak egy B. Courcelle által mintegy 25 éve felvetett nyitott problémát. A reguláris szó fogalmát Courcelle vezette be 1978-ban. A reguláris szavakat nem mások, mint a reguláris fák határai. Courcelle belátta, hogy egy szó akkor és csakis akkor reguláris, ha előáll olyan véges fixpont egyenletrendszer iniciális megoldásának valamely komponenseként, amelyben a jobb oldalon, az ismeretleneken kívül csak a konstansok (az abc betűi) és a konkatenáció művelete fordul elő. Heilbrunner megmutatta 1980-ban, hogy egy szó akkor és csakis akkor reguláris, ha előáll a konstansokból a konkatenáció, az omega-hatványozás, ennek ellentettje, és a ``shuffle" műveletek felhasználásával, ahol a shuffle műveletek segítségével olyan szavak is képezhetők, melyekben sűrűn fordulnak elő betűk. Összefoglaló néven a fenti műveleteket reguláris műveleteknek nevezzük. Courcelle két problémát vetett fel cikkében: 1) Eldönthető-e a reguláris szavak egyenlősége, azaz, megadható-e olyan algoritmus, mely tetszőleges két reguláris fára eldönti, hogy határaik megegyeznek-e (izomorfak-e). 2) Adjuk meg az azonosságok teljes rendszerét a konkatenációra és a két hatványozás műveletre.

A shuffle műveletek bevezetése után természetesen vethető fel a kérdés arra az általánosabb esetre is, amikor a műveleteket kiegészítjük velük is. Az 1) kérdést Wolfgang Thomas vizsgálta és 1986-ban megjelent cikkében igazolta a kérdés eldönthetőségét. Módszere azonban nem vezetett elemi algoritmusra. Mi megmutattuk, hogy a probléma megoldható exponenciális időben, és amennyiben reguláris kifejezésekkel adottak a szavak, akkor polinom időben is. A 2) problémát Bloom és Ésik oldottak meg Courcelle konkatenációs és hatványozás műveletein kívül a shuffle műveletekre is. Mindkét esetben végtelen sok azonosságot használtak (amelyek egyszerű szerkezetűek), és megmutatták, hogy véges azonosság bázis nem létezik.

2) Fülöp Z.; Gazdag Zs.; Vogler, H.: ***Hierarchies of tree series tree transformations***, Theoret. Comput. Sci. 314: 387-429., 2004

Általánosítottuk Joost Engelfriet 1982-ből származó híres hierarchia tételét félgyűrűk feletti, ún. fasor transzformátorokra. Engelfriet hierarchia tétele azt mondja ki, hogy a (nemdeterminisztikus) felszálló fatranszformátorok osztályának n-edik hatványai valódi hierarchiát alkotnak a tartalmazásra nézve. Más szóval, bármely n-re megadható n+1 olyan felszálló fatranszformátor, melyek kompozíciója nem indukálható n felszálló fatranszformátorral. A tételből viszonylag egyszerűen következik, hogy ugyanez az állítás igaz leszálló fatranszformátorokra is. Ezt az eredményt általánosítottuk fasor transzformátorokra. Megmutattuk, hogy tetszőleges idempotens, pozitív K félgyűrű esetén a K feletti felszálló fasor transzformátorokra is igaz a hierarchia tétel (mind felszálló, mind leszálló esetben). Amennyiben K még kommutatív is, a felszálló és a leszálló hierarchiák egyetlen tartalmazási diagrammá kombinálhatók. (Nemrégiben A. Maletti megmutatta, hogy az idempotencia elhagyható a feltételek közül, lásd A. Maletti, Hierarchies of tree series transformations is revisited, Proc. of DLT 06, LNCS 4036, 215-225, Springer, 2006).

3) Fülöp Z.; Vogler, H.: ***Weighted Tree Transducers***, J. of Automata, Languages and Combinatorics, 9: 31-54., 2004

A fasor transzformátor szemantikájának eredeti, algebrai definíciója mellé bevezettük a fatranszformátorok elméletében sokkal inkább ismeretes termátíró szemantika definíciót. Definiáltuk a súlyozott fatranszformátor fogalmát, ami nem más, mint egy olyan fatranszformátor, melynek minden átírási szabályához hozzá van rendelve a súlyokat képező K félgyűrű egy eleme. Egy s input fából kiindulva, baloldali levezetési lépéseket alkalmazunk. Egy t output fában termináló levezetés súlyát úgy kapjuk, hogy a levezetésben alkalmazott szabályok súlyait a félgyűrűben összeszorozzuk. A t output fa súlyát a t-ben termináló baloldali levezetések súlyainak félgyűrűbeli összege adja. Megmutattuk, hogy a két szemantika definíció ekvivalens, vagyis a K feletti fasor transzformátorokkal kiszámítható fasorok osztálya megegyezik a K feletti súlyozott fatranszformátorokkal kiszámítható fasorok osztályával.

4) B. Borchardt, Z. Fülöp, Zs. gazdag, A. Maletti: ***Bounds for Tree Automata with Costs***, J. of Automata, Languages and Combinatorics, 10 (2005) 107-157.

Költségfüggvénnyel ellátott faautomatának egy olyan faautomatát nevezünk, amelyben minden n-aritású átmenethez egy K félgyűrű feletti n változós polinomot rendelünk költségfüggvényként. Ily módon egy költségfüggvénnyel ellátott faautomata esetén egy s input fán történő futásnak a költsége a futás során alkalmazott átmenetek költségeinek kompozíciója (tehát K egy eleme) lesz. Az s költsége pedig az összes s feletti futások költségeinek összege. Ha a K félgyűrűn adott egy parciális rendezés, akkor beszélhetünk K feletti korlátos költségű faautomatákról. Hasonlóan természetes módon értelmezhető a véges költségű faautomata fogalma: egy K feletti faautomata véges költségű, ha az összes (általában végtelen) futásainak költsége K-nak egy véges részhalmaza.

Megmutattuk, hogy végesen faktorizálható és természetesen rendezett K félgyűrű esetén egy költségfüggvénnyel ellátott faautomata akkor és csak akkor korlátos, ha véges költségű. Továbbá, megmutattuk, hogy ha a K félgyűrű monoton és végesen faktorizálható (mvf-félgyűrű), akkor tetszőleges K feletti költségfüggvényel ellátott faautomatáról eldönthető, hogy véges költségű-e. Az mvf-félgyűrűk osztálya elég széles és gyakorlatban is használható fogalom, mivel tartalmazza többek között a természetes számok klasszikus félgyűrűjét, a max-plusz félgyűrűt és a véges nyelvek félgyűrűjét. Ily módon a pozítív eldönthetőségi eredményeink természetesen ezen félgyűrűk feletti költségfüggvénnyel ellátott faautomatákra is vonatkoznak.

5) Ésik Z.; Kuich, W.: ***On iteration semiring-semimodule pairs***, Semigroup Forum, 75(2007), 129-159.

Ésik Z.; Kuich, W.: ***A semiring-semimodule generalization of ω-regular languages, I.***, J. of Automata, Languages, and Combinatorics, 10: 203-242., 2005

Ésik Z.; Kuich, W.: ***A semiring-semimodule generalization of ω-regular languages, II.***, J. of Automata, Languages, and Combinatorics, 10: 243-264., 2005

A fenti cikkekben a végtelen szavakon működő súlyozott faautomatákat vizsgáltuk. Az automataelmélet klasszikus eredménye Kleene tétele: véges szavak felett egy nyelv akkor és csakis akkor felismerhető, ha reguláris. A tétel kiterjesztése végtelen szavakra Büchi nevéhez fűződik. A tétel egy általánosítását igazoltuk a cikkekben egy igen absztrakt keretben.
Beláttuk, hogy a tétel a fixpont művelet néhány egyszerű azonosságának következménye. Az ehhez szükséges algebrát (Conway és iterációs félgyűrűk és modulusaik) az első cikkben fejlesztettük ki. A második és harmadik cikkben a Kleene-féle tétel két változatát igazoltuk ezekre a struktúrákra.

6) Ésik Z.; Weil, P.: ***Algebraic recognizability of regular tree languages***, Theoret. Comput. Sci. 340: 291-321., 2005

A klasszikus véges automaták esetében a felismerhető nyelv fogalma két módon is definiálható: egy nyelv felismerhető, ha felismerhető véges automatával (vagy ekvivalens módon, minimális automatája véges), ill. egy nyelv felismerhető, ha felismerhető véges monoiddal (ami ekvivalens azzal, hogy szintaktikus monoidja véges). Az automataelmélet klasszikus eredményei közé tartozik az a tétel, amely a két lehetséges definíció ekvivalenciáját mondja ki. Mar az 1960-as évek végén bevezetésre került a faautomata fogalma, és ennek megfeleően egy fanyelvet akkor neveztek feismerhetőnek, ha felismerhető véges faautomatával (vagy ha minimális faautomatája véges). A cikkben a monoid fogalmának egy lehetséges általánosítását vizsgáltuk faautomatákra. Bevezettük a pre-clone fogalmat és megmutattuk, hogy minden fanyelv felismerhető pre-clone segítségével. Ezek közül kitüntetett szerepet játszik a nyelvhez tartozó szintaktikus pre-clone. Beláttuk továbbá, hogy egy nyelv akkor és csak is akkor ismerhető fel véges faautomatával, ha a nyelvhez tartozó szintaktikus pre-clone lokálisan véges, ami tovább ekvivalens azzal, hogy a nyelv felismerhető lokálisan véges pre-clone-nal.

7) Fülöp Z., Muzamel L.: ***Recent Results on Pebble Macro Tree Transducers***, Proc. of the 1st Conference on Algebraic Informatics (October 20-23 2005, Thessaloniki), 281-284., 2005

Fülöp Z., Muzamel L.: ***Circularity, Composition, and Decomposition Results for Pebble Macro Tree Transducers*** , Journal of Automata, Langauges and Combinatorics, megjelnés alatt.

A J. Engelfriet és M. Maneth által bevezetett makró kavics fatranszformátort vizsgáltuk. A kavics fatranszformátorok az XML lekérdező nyelvek formális modelljei. A makró kavics fatranszformátorokra érvényes Yield-szerű dekompozíciós eredményeket kerestünk.

Bebizonyítottuk, hogy minden erősen nemcirkuláris determinisztikus n-kavics makró fatranszformáció megadható, mint egy nemcirkuláris determinisztikus n-kavics fatranszformáció és egy nemcirkuláris determinisztikus 0-kavics fatranszformáció kompozíciója. Ebből következik, hogy az erősen nemcirkuláris determinisztikus n-kavics makró fatranszformációk kompozícióra való lezárása megegyezik a nemcirkuláris determinisztikus n-kavics fatranszformációk kompozícióra való lezárásával. Alkalmazva eredményeinket az n=0 speciális esetre, azt kapjuk, hogy minden erősen nemcirkuláris determinisztikus 0-kavics makró fatranszformáció megadható, két nemcirkuláris determinisztikus 0-kavics fatranszformáció kompozíciójaként. Ugyancsak megmutattuk, hogy minden n-kavics fatranszformáció értelmezési tartománya felismerhető fanyelv. Ezen eredmény egyik következménye, hogy tetszőleges determinisztikus n-kavics fatranszformátororról eldönthető, hogy cirkuláris-e.

8) Fülöp Z.; Kühnemann, A.; Vogler, H.: ***A bottom-up characterization of deterministic top-down tree transducers with regular look-ahead***, Inf. Process. Letters 90: 57-67., 2004

Reguláris előrenézésű fatranszformátorokkal kapcsolatban a következő eredményeket értük el. Megadtunk egy új fatranszformátor típust, az ún. multi leszálló fatranszformátort, amely abban különbözik a leszálló fatranszformátortól, hogy állapotainak rangja nemcsak 1, hanem tetszőleges természetes szám lehet. Ily módon több lehetséges output fát is egyszerre számol és a végeredményt ezekből alakítja ki. Megmutattuk, hogy a determinisztikus multi leszálló fatranszformátorok szemantikailag ekvivalensek a determinisztikus reguláris előrenézésű felszálló fatranszformátorokkal. Ugyanakkor a multi leszálló fatranszformátor előnye, hogy az input fán csak egy menetben megy végig, ellentétben a reguláris előrenézésű felszálló fatranszformátorral, amely a reguláris előrenézés miatt minden szabály alkalmazása előtt végigolvassa az input fát.

9) Fülöp Z.; Kühnemann, A.; Vogler, H.: ***Linear deterministic multi bottom-up tree transducers***, Theoret. Comput. Sci. 347: 276-287., 2005

A 6) cikkünkben bevezettük a multi leszálló fatranszformátor fogalmát és megmutattuk, hogy a determinisztikus multi leszálló fatranszformátorok számítási kapacitása megegyezik a determinisztikus reguláris szűkítésű felszálló fatranszformátorok számítási kapacitásával. Jelen dolgozatban a lineáris determinisztikus multi leszálló fatranszformátorokkal kiszámítható fatranszformációk *ld-MBOT* osztályát vizsgáltuk. (A lineáris fatranszformátorok általában fontosak, mivel számos kedvező tulajdonsággal rendelkeznek, például megőrzik a fanyelvek felismerhetőségét.) Az *ld-MBOT* osztályt a tartalmazási relációra nézve összehasonlítottuk a determinisztikus reguláris előrenézésű fatranszformációk osztályával, a determinisztikus leszálló-, a determinisztikus felszálló és a homomorfizmus fatranszformációk osztályával valamint az ezek lineáris rész-osztályaival. Megadtuk az ezen (összesen kilenc) fatranszformáció osztályokból álló, ún. tartalmazási diagramot. Ezzel kilenc fontos fatranszformátor osztály számítási kapacitását hasonlítottuk össze.

10) Z. Ésik: ***An algebraic characterization of the expressive power of temporal logics on finite trees, Part 1***, Proc. of the 1st Conference on Algebraic Informatics (October 20-23 2005, Thessaloniki) , 53-78., 2005

Z. Ésik: ***An algebraic characterization of the expressive power of temporal logics on finite trees, Part 2***, Proc. of the 1st Conference on Algebraic Informatics (October 20-23 2005, Thessaloniki) , 70-100., 2005

Z. Ésik: ***An algebraic characterization of the expressive power of temporal logics on finite trees, Part 3***, Proc. of the 1st Conference on Algebraic Informatics (October 20-23 2005, Thessaloniki) , 101-110., 2005

Ésik Z.: ***Characterizing CTL-like Logics on Finite Trees,*** Theoret. Comput. Sci., 356: 136-152., 2006

A lineáris temporális logikák kifejező ereje meglehetősen jól ismert. Ugyanakkor az elágazó temporális logikák kifejező erejéről meg viszonylag kevés ismeretünk van. A legelterjedtebben használt elágazó idejű temporális logika a CTL, melyhez létezik polinom idejű modell ellenőrzési algoritmus. Minden CTL-ben kifejezhető tulajdonság reguláris, azaz véges faautomatával felismerhető nyelv. Ugyanakkor nem ismert az, hogy eldönthető-e tetszőleges véges automatára, hogy az általa felismert nyelv kifejezhető-e CTL-ben.

A fenti cikkekben egy olyan algebrai eszköztárat fejlesztettünk ki, amely segítségével logikától függetlenül jellemezhető az elágazó temporális logikák kifejező ereje (legalábbis véges fákon). Temporális logikák egy egész családját vizsgáltuk. A reguláris fanyelvek minden L részosztályához hozzárendeltünk egy FTL(L) logikát. Megmutattuk, hogy az L alkalmas megválasztásával előáll a CTL és számos más, korábban vizsgált logika. Beláttuk, hogy FTL lezárási operátor a reguláris fanyelvek osztályain, és amennyiben az L-beli nyelvek ``hányadosai" kifejezhetőek, úgy FTL(L) a reguláris fanyelvek literális varietása: Zárt a Boole műveletekre, a hányados képzésre, és az inverz literális fahomomorfizmusra. Az a technikai feltétel, hogy az L-beli nyelvek hányadosai kifejezhetőek (vagy definiálhatóak) legyenek, minden gyakorlatban fontos esetben teljesül, és azt a továbbiakban feltesszük mi is.) Így Eilenberg varietás tételének egy faautomatákra vonatkozó változatának felhasználásával, minden FTL(L) logikának mefeleltethető a faautomaták és pszeudovarietása. Ez a pszeudovarietás minden esetben zárt a kaszkád szorzatra (azaz a transzformáció félcsoportok koszorú szorzatának egy faautomatákra való általánosítására). Ennél pontosabb jellemzést is adtunk. Tekintsük az L-ben szereplő nyelvek minimális faautomatáinak K_L osztályát. Egy reguláris nyelv akkor és csakis akkor definiálható az FTL(L) logikában, ha minimális faautomatája benne van abban a legszűkebb pszeudovarietásban, amely tartalmazza a K_L osztályt, egy további egyszerű kétállapotú faautomatát, és zárt a kaszkád szorzatra. A tétel specializálásával adódik az, hogy egy reguláris fanyelv akkor és csakis akkor definiálható a CTL-ben, ha minimális automatája benne van abban a legszűkebb pszeudovarietásban, amely zárt a kaszkád szorzatra és tartalmazza azon kétállapotú faautomatát, amely műveletei a konstans műveleteken kívül a diszjunkció (vagy a konjunkció). Ez még önmagában nem ad algoritmikus módszert, de a CTL számos fragmensére sikerült algoritmikus jellemzést találni a tétel felhasználásával.

11) Z. Ésik and G. Martin: ***A note on Wolper's logic***, Proc. of the ICALP Workshop on Semigroups and Automata (Lisboa, 2005), 61-68., 2005

A lineáris temporális logikában (LTL) definiálható nyelvek éppen a csillagmentes, vagy más néven aperiodikus nyelvek. Tehát az LTL kifejező ereje elmarad a véges automaták erejétől, vagy a monadikus másodrendű logika kifejező erejétől. Az LTL kifejező erejének növelésére szisztematikus javaslatot adott Wolper, és újabban Ésik és Larsen. A cikkben a két javaslatot hasonlítottuk össze algebrai módszerekkel. A fő eredmény szerint Wolper logikái előállnak az Ésik-Larsen féle logikák speciális eseteként, és a két megközelítés közti kapcsolatban fontos szerepe van a véges automatákon értelmezett hatványautomata operátornak. A Wolper logikák kifejezőerejének ezen jellemzése számos esetben algoritmust is szolgáltat annak eldöntésére, hogy egy tulajdonság kifejezhető-e.

12) Vágvölgyi S.: ***Descendants of a recognizable tree language for sets of linear monadic term rewrite rules***, Inf. Process. Letters 99: 111-118., 2006

Az L fanyelvre és R termátíró rendszerre, $R^*(L)$ azon fák halmaza amelyeket valamely L-beli fából érünk el R-beli szabályok alkalmazásával. Egy Σ ábécé feletti L felismerhető fanyelvre $D(L)$ jelöli az L leszármozattainak a halmazát az összes Σ feletti lineáris monadikus termátíró rendszerre nézve. Igazoltuk hogy $D(L)$ véges. Továbbá megkonstruáltuk a Σ feletti $R_1, \ldots, R_k$ lineáris monadikus termátíró rendszereket úgy hogy $D(L)=\{\, R_1^*(L), \ldots, R_k^*(L)\, \}$. Ezzel teljesen jellemeztük a $D(L)$ halmazt.

13) Zs. Gazdag: ***Shape Preserving Bottom-Up Tree Transducers***, Journal of Automata, Languages and Combinatorics, 10 : 483--534., 2005

Zs. Gazdag: ***Decidability of the Shape Preserving Property of Bottom-up Tree Transduecrs***, International Journal of Foundations of Computer Science 17: 395-413., 2006

Az első a cikkben a leszálló fatranszformátorok alakmegőrző tulajdonságát vizsgáltuk. Fülöp és Gazdag egy korábbi cikkében bizonyítást nyert, hogy az alakmegőrző felszálló fatranszformátorok ekvivalensek az úgynevezett átcímkéző fatranszformátorokkal (röviden átcímkézőkkel). Ezt az eredményt általánosítottuk leszálló fatranszformátorokra, azaz megmutattuk, hogy az alakmegőrző leszálló fatranszformátorok is ekvivalensek az átcímkézőkkel. A fatranszformátorok alakmegőrző tulajdonsága szemantikus tulajdonságnak tekinthető, hiszen az egy fatranszformátor által indukált fatranszformációra vonatkozik. Az viszont, hogy egy fatranszformátor átcímkéző, egy szintaktikus tulajdonság, mivel a fatranszformátor átírási szabályira jelent megszorítást. Így a fent említett cikk eredménye a leszálló fatranszformátorok egy szemantikus tulajdonságát jellemzi azok egy szintaktikus tulajdonságával. A cikkben szereplő eredmények konstruktívak abból a szempontból, hogy ha adott egy alakmegőrző M leszálló fatranszformátor, akkor ezen eredményeket felhasználva effektíven megkonstruálható egy M-mel ekvivalens átcímkéző. Mivel az átcímkézők ekvivalenciája eldönthető, kaptuk, hogy az alakmegőrző (felszálló illetve leszálló) fatranszformátorok ekvivalencia problémája is eldönthető.

Az első cikk eredményei szerint ismert, hogy a felszálló illetve a leszálló fatranszformátorok szemantikusan ekvivalensek az átcímkéző fatranszformátorokkal (röviden átcímkézőkkel). Fülöp és Gazdag egy korábbi cikkében azt is sikerült megmutani, hogy a felszálló fatranszformátorok alakmegőrző tulajdonsága algoritmikusan eldönthető. A második cikkben ezzel analóg eredményt bizonyítottunk a leszálló fatranszformátorokra, azaz megmutattuk, hogy a leszálló fatranszformátorok alakmegőrző tulajdonsága is eldönthető. Ehhez felhasználtuk az első cikk eredményit is. Abban a munkában ugyanis sikerült megmutatni, hogy egy úgynevezett transzformálható leszálló fatranszformátorról el lehet dönteni, hogy alakmegőrző-e vagy sem. Az is bizonyítást nyert, hogy az alakmegőrző leszálló fatranszformátorok transzformálhatóak. A második cikkben pedig azt mutattuk meg, hogy tetszőleges leszálló fatranszformátorról eldönthető, hogy transzformálható-e vagy sem. Ezen eredmény, valamint az első cikk előbb említett eredményeinek felhasználásával kaptuk a második cikk legfőbb eredményét, vagyis azt, hogy a leszálló fatranszfomátorok alakmegőrző tulajdonsága algoritmikusan eldönthető.

14) Fülöp Z., A. Maletti, és H. Vogler, ***A Kleene Theorem for Weighted Tree Automata over Distributed Multioperator Monoids***, Theory of Computing Systems, megjelenés alatt.

A cikkben multioperátor monoidok feletti súlyozott faautomatákat vizsgáltunk. Egy multioperátor monoid egy olyan additív monoid, amelynek az összeadás mellett egyéb műveletei is vannak. Amennyiben ezen műveletek mindegyike minden komponensében disztributív az összeadásra nézve, akkor a multioperátor monoid disztributív. Tetszőleges M multioperátor monoid esetén igen természetes módon definiálható az M feletti súlyozott faautomata fogalma: egy n változós átmenet súlya nem más, mint M-nek egy n változós művelete. Az összeadás, csakúgy, mint minden egyéb súlyozott faautomata modell esetén a nemdeterminisztikus viselkedés kezelésére szolgál. A cikkben definiáltuk az M feletti racionális fasor (vagyis racionális kifejezéssel megadható fasor) fogalmát és általánosítottuk Kleene tételét disztributív M monoidok feletti fasorokra: tetszőleges M disztributív monoid feletti fasor akkor és csak akkor ismerhető fel M feletti súlyozott faautomatával, ha megadható M feletti racionális kifejezéssel. Mivel az M multioperátor monoid a félgyűrű általánosításának is tekinthető, ezáltal speciális esetként megkapjuk Kleene tételét tetszőleges félgyűrű feletti fasorokra. (A korábban ismert legerősebb „súlyozott" Kleene tétel kommutatív félgyűrűk feletti fasorokra vonatkozott.)

15) Esik, Z; Iván, Sz: ***Aperiodicity in tree automata,*** CAI 2007, proceedings, LNCS 4728, Springer, 2007, 189-207

Az automaták és formális logika kapcsolatában fontos eredmény Mc Naughton és Papert tétele, amely szerint egy véges szavak feletti nyelv akkor és csakis akkor definiálható első-rendű logikában, ha leírható csillagmentes kifejezéssel. Kamp tétele szerint a lineáris temporális logika kifejező ereje megegyezik az elsőrendű logikáéval. Ugyanakkor Schützenberger klasszikus eredménye szerint egy nyelv akkor és csakis akkor írható le csillagmentes kifejezéssel, ha reguláris, és szintaktikus monoidja aperiodikus, ill. ha minimális automatája aperiodikus (vagy más szóval, számláló mentes). A cikkben az aperiodicitás fogalmának lehetséges kiterjesztéseit vizsgáltuk faautomatákra. Bevezettük az aperiodicitási fogalmak egy egész hierarchiáját, és megmutattuk, hogy a hierarchia végtelen. Megmutattuk továbbá, hogy a hierarchia minden foka eldönthető exponenciális időben, és azt, hogy PSPACE-nehéz. Vizsgáltuk az aperiodicitás és a logikai definiálhatóság kapcsolatát, pld. beláttuk azt, hogy minden első-rendben definiálható nyelv 1-aperiodikus.

16) Ésik Z.; Guangwu, L.: ***Fuzzy tree automata***, Fuzzy Sets and Systems, 158 (2007), 1450-1460.

Ésik Z.; ***Fuzzy boolean sets***, Int. J. Foundations of Computer Science, 18 (2007), 1197-1207,

Az első cikkben algebrák reguláris (vagy racionális) fuzzy részhalmazait vizsgáltuk. Fő eredményünk egy hármas ekvivalencia: A reguláris fuzzy halmazok megegyeznek az un. ekvacionális fuzzy halmazokkal (amelyek fixpont egyenletek minimális megoldásával állnak elő), és ezek továbbá megegyeznek a felismerhető fuzzy halmazokkal. Abban a speciális esetben, amikor az algebra egy term algebra, a tétel a fuzzy fanyelvekre vonatkozó hármas ekvivalenciát ad. A második cikkben az ekvacionális fuzzy halmaz fogalmát általánosítottuk arra az esetre, amikor a fixpont egyenletekben komplemens képzés is előfordulhat. Az eredményekben az induktív logikai programozás szemantikájának megadására szolgáló fixpont tételeket használtunk fel, és zártsági tulajdonságokat igazoltunk. Speciális esetként adódnak az Okhotin által nemrégiben bevezetett Boole-féle környezetfüggetlen nyelvek.

b) Könyvfejezetek

1) Z. Fülöp, H- Vogler, ***Weighted Tree Automata and Tree Transducers***, (in: Handbook of Weighted Automata, Eds. M. Droste, W. Kuich, and H. Vogler), 80 oldal, Springer, 2008, megjelenés alatt.

A fenti könyvfejezetben egy alapos összefoglalást adtunk a súlyozott faautomaták és a súlyozott fatranszformátorok témakörben eddig megjelent (részben saját) eredményekről. A fejezet megírása során mintegy 100 cikk eredményeit tekintettük át és írtuk le (részben van egészben) egységes jelölésrendszert alkalmazva. A fejezet csak néhány kisebb, kiegészítő jellegű eredeti eredményt tartalmaz. Ugyanakkor reményeink szerint közvetve hozzájárul a súlyozott faautomatákkal és fatranszformátorokkal kapcsolatos kutatásokhoz.

2) Fülöp Z.: ***An Introduction to Tree Transducers***, Formal Methods in Computing (Eds. M. Ferenczi, A. Pataricza and L. Rónyai), Akadémiai Kiadó, Budapest, 2005, 199-258., 2005

A fenti könyvfejezet nem tartalmaz új kutatási eredményeket. Ugyanakkor egy olyan bevezető tárgyalást ad a fatranszformátorok elméletébe, amely kezdők, elsősorban a témakör iránt érdeklődő PhD hallgatók számára is olvasható. Reményeink szerint ezzel közvetve hozzájárulunk a fatranszformátorok elméletének fejlődéséhez.

c) Technikai riportok , közlésre benyújtott cikkek

1) Fülöp Z.; Vogler, H.: ***A Comparison of Several Models of Weighted Tree Automata***, Technical report, Technical Univ. of Dresden, Faculty of Computer Science, 2006.

Összefoglaló munka, amely a b) pont 1) pontjában szereplő könyvfejezet előtanulmányának tekinthető. Összegyűjtöttük, egységes jelölésmódban leírtuk, majd felismerő kapacitásra nézve összehasonlítottuk a szakirodalomban definiált következő súlyozott faautomata modelleket: Berstel és Reutenauer véges-dimenziójú vektortér feletti multilineáris reprezentációját, Bozapalidis kommutatív félgyűrű feletti súlyozott faautomatáját, Borchardt és Vogler félgyűrű feletti súlyozott faautomatáját, Ésik és Kuich folytonos, kommutatív félgyűrű feletti súlyozott faautomatáját, Seidl polinom súlyozású faautomatáját és végül Maletti multioperátor monoid feletti súlyozott faautomatáját.

2) Fülöp Z., Muzamel L, ***Pebble Macro Tree Transducers with Strong Pebble Handling***

A cikkben az a) pont 7) pontjában szereplő kavics makró fatranszformátor modelleket vizsgáltuk ún. erős kavicskezelés mellett. Ez utóbbi azt jelenti, hogy a legutoljára ledobott kavics bármikor felemelhető, függetlenül attól, hol áll éppen az olvasó fej. A cikk egyik fő eredménye, hogy az n-kavics makró fatranszformátorok által (erős kavics kezeléssel) kiszámított fatranszformációk nem mások, mint az n-kavics (makró hívás nélküli) fatranszformációk és a yield fatranszformációk kompozíciói által előálló fatranszformációk. A másik fő eredmény, hogy minden n-kavics fatranszformáció kiszámítható (n-1)-kavicsot használó makró fatranszformátorral. A két eredmény egybevetéséből következik, hogy minden n-kavics makró fatranszformáció előáll, mint (n+2) darab úgynevezett helyben maradó lépést is megengedő makró fatranszformáció kompozíciója. Ebből viszont következik, hogy az n-kavics makró fatranszformációk inverzei megőrzik a fanyelvek regularitását, továbbá, hogy az n-kavics makró fatranszformátorok típusellenőrzési problémája eldönthető. Ez utóbbinak az XML dokumentumok transzformációinak területén van alkalmazása.

Szeged, 2008. február 6. Fülöp Zoltán