

Záró beszámoló

Innovatív rangsorolási módszerek a hálózattudományban

K138945

Szakmai vállalások

A tudományos eredmények részletes bemutatása előtt érdemes egy pillantást vetni a projekt számszerűsíthető kimeneteire.

A pályázat publikációs vállalása hat cikk volt, amiből öt Q1-es besorolású, ezen belül legalább egy D1-es besorolású. A szerzők a három év alatt hét tanulmányt és egy konferenciacikket publikáltak, kifejlesztettek egy statisztikai szoftvercsomagot, amit nyilvánosan elérhetővé tettek, valamint jelenleg bírálóat alatt áll további hat cikkük. A megjelent tanulmányok besorolása: egy D1-es, három Q1-es, két Q2-es és egy Q3-as, mindegyik a pályázat témájában született és az NKFIH támogatása feltüntetésre került rajtuk. A bírálóat alatt lévő tanulmányok mindegyike legalább Q1-es besorolású folyóiratokhoz van benyújtva. Az egyik ilyen tanulmány, amely a D1-es besorolású *Mathematical Programming* című folyóirathoz van benyújtva már a második bírálati körön is átesett. Bár biztosat nem lehet mondani, a szerzők pozitív eredményre számítanak.

Összefoglalva tehát a szerzők úgy vélik, hogy kutatási tervben nevesített célokat sikerült elérni, sőt túl is szárnyalni. A következőkben bemutatásra kerül az utóbbi egy év termése, majd témákra lebontva összegzésre kerülnek az elmúlt három évben elért eredmények.

2023/2024-ben publikált tanulmányok

Sziklai Balázs, Lengyel Balázssal közösen, a Cambridge kiadó által megjelentetett (Q2-es besorolású) *Network Science* folyóiratban publikálta az "Audience selection for maximizing social influence" című cikkét. Ebben az ismert befolyásterjedési probléma egy változatát vizsgálja, amelyben nem egyéneket (influenzszerkeket) kell megcélózni egy marketingkampány során, hanem célcsoportot választani (pl. helyszínt egy eseménysorozatban). Megmutatták, hogy a csoportok átlagos centralitása jól jelzi előre az impaktjukat. Ugyanakkor más algoritmusok teljesítenek jól az eredeti befolyásterjedési problémában és a szerzők által bevezetett változatban. A tanulmány logikus folytatása a 2023-ban *Social Network Analysis and Mining* folyóiratban megjelent szintén Lengyel Balázssal közösen írt cikknek, amelyben azt vizsgálták, hogyan lehet a hálózat struktúrája alapján azonosítani az innovátorokat és korai elfogadókat.

Sziklai Balázs, Héberger Károllyal és Baranyi Mátéval közösen a (Q3-as besorolású) *Central European Journal of Operations Research* folyóiratban publikálták a "Does cross-validation work in telling rankings apart?" című cikküket. Ebben kereszt-ellenőrzéssel egybekötött statisztikai teszteléssel vizsgálták mennyire lehet két rangsorról megállapítani, hogy azonos eloszlásból származnak-e vagy sem. A tanulmány jelentősége, hogy mind a rang-transzformáció, mind a kereszt-ellenőrzés rendkívül elterjedt a gépi tanulás irodalmában. Külön értéket ad a cikknek, hogy a Jochen Staudacherrel és Héberger Károllyal közösen nemrégiben publikált (CRAN repozitóriumba [feltöltött](#)) rSRD programcsomag egyik validációs opcióját is explicite teszteli. Az SRD-vel kapcsolatos kutatások is folytatódnak. Egyrészt a fent említett *Network Science* cikkben is használták ezt a módszert. Másrészt

az rSRD programcsomag esettanulmányokkal kiegészített dokumentációja is hamarosan benyújtásra kerül egy erre szakosodott folyóiratba.

Benedek Márton, Biró Péterrel, Daniél Paulusmával és Xin Yevel közösen a (Q2-es besorolású) *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* című folyóiratban, „Computing balanced solutions for large international kidney exchange schemes” címen publikálták a vesecsere-programról szóló tanulmányukat¹. A cikk partícionált párosítási játékokat vizsgál szimulációs módszerekkel egy konkrét alkalmazást szem előtt tartva: nemzetközi vesecsere programok hatékony működését. Vesebetegek esetén gyakran előfordul, hogy van egy önkéntes donoruk, akivel azonban nem kompatibilisek. Vesecsere programokban szervezett és kontrollált keretek között történik a betegek között az önkéntes, inkompatibilis donorok cseréje, hogy kompatibilis párok létrehozásával sikeres transzplantációkat tudjunk végrehajtani. Ezeket jellemzően nemzeti programok keretén belül végzik Európában, azonban az egyértelmű, hogy nemzetközi együttműködés esetén sokkal több sikeres transzplantációra lenne esélyünk - nem meglepő módon a nemzetközi együttműködések egyre inkább terjednek manapság. Mi azt vizsgáltuk, kooperatív játékelméleti megoldáskonceptiók széles körére alapozva, hogy hogyan lehet biztosítani, hogy egy ilyen együttműködésben egyrészt i) semelyik résztvevő ország se járjon rosszul hosszú távon, illetve ii) a hosszú távú többlet eléréséig is legyenek a köztes kilengések stabil keretek közé szorítva. A szerzők megmutatták, hogy a Lex-min algoritmussal hogyan lehet egy igazságos megoldáshoz lexikografikusan legközelebb eső maximális méretű megoldásokat megtalálni partícionált párosítási játékokban. Valamint azt is megmutatták, hogy az irodalomban nemrégiben bevezetett kompenzációs kreditrendszernek mi lenne a helyes modellezési módja, amely egyben elvezetett a legjobban teljesítő megoldáshoz (módosított Banzhaf érték). A megjelenését követően a 2012-ben közgazdasági Nobel-díjat elnyert Alvin E. Roth a [blogján](#) hívta fel az olvasóinak figyelmét a cikkre.

2023/2024-ben benyújtott tanulmányok

Sziklai Balázs Kate M. Barnes-szal és Pintér Józseffel közösen megvizsgálta, hogy a hálózati terjedési mechanizmusokat hogyan lehet még valóságosabbá tenni és megmutatták, hogy apróbb változtatások a diffúziós modellben teljesen felborítják a hálózati központisági mértékek rangsorát. A tanulmány - amely jelenleg a *Social Network Analysis and Mining* folyóiratban bírálat alatt áll - egyik következtetése, hogy érdemes előbb a hálózati terjedési mechanizmusokat jobban megérteni, mielőtt egy kevésbé élethű modellre optimalizál az ember.

Benedek Márton, Biró Péterrel, Walter Kernnel, Pálvölgyi Dömötörrel, valamint Daniél Paulusmával közösen az fent említett partícionált párosítási játékokkal kapcsolatos elméleti kérdéseket vizsgálja meg, elsősorban a játék magjára koncentrálna. Vizsgálják az adott elosztás magbeliségének eldöntése, a mag ürességének vagy nem-ürességének eldöntése, illetve egy magbeli elosztás megtalálásának (amennyiben a mag nem üres) komplexitási kérdéseit. A tanulmány a *Mathematical Programming* folyóiratba lett benyújtva.

Benedek Márton, Biró Péterrel, Csáji Gergellyel, Matthew Johnsonnal, Daniél Paulusma és Xin Yevel közösen „Computing Balanced Solutions for Large International Kidney Exchange Schemes When Cycle Length Is Unbounded” címmel írtak egy tanulmányt, amely jelenleg a *European Journal of Operations Research* folyóiratban van bírálat alatt. A fentebb említett cikkek a partícionált párosítási játékokat csak ún. páros cseréket engedtek meg, ami az elsődleges alkalmazási terület, a nemzetközi

¹ Nem összekeverendő a korábban hasonló címmel írt konferenciánkunkkal, ami 2022-ben a *Proceedings of the 21st International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems* című kiadványban jelent meg.

vesecseré programok esetében egy rendkívül releváns paraméter - több európai országban, mint pl. Magyarország vagy Franciaország, a párosítási körök hosszára megadott határ kettő. Ebben a cikkben azt vizsgálják, hogy mi történne, ha nem lenne felső korlát a körök hosszára vonatkozóan. Fontos eredmény, hogy ekkor még hatékonyan (polinom időben) tudunk találni maximális megoldásokat, míg a két végét (kettő és korlátlan) akármilyen más korlát esetén ez elvész.

Sziklai Balázs, Ágoston Kolossal és Sebestyén Zoltánnal közösen a MOL IT projekt portfólió menedzsment értékelési folyamatának validációját végezte el. A kutatási kérdés az volt, hogy a projektek rangsorolása megfelel-e a vállalat üzleti és stratégiai céljainak. Az elemzés tanulságai cikké formálva benyújtásra kerültek a *Journal of Management Analytics* című folyóiratba „Advancing Project Portfolio Management Practices in the Oil and Gas Industry” címmel.

Sziklai Balázs Kóczy Á. Lászlóval közösen a körzetkiosztás problémáját vizsgálták. Az irodalomban elterjedt és egyébként a pártlistás helyek kiosztásánál itthon is alkalmazott D'Hondt módszerről Erel Segal-Halevi bizonyította, hogy kompetitív egyensúlyra vezet. Azaz minden a D'Hondt módszer által meghatározott kiosztás előállítható úgy, hogy annyi pénzt adunk a megyéknek, ahány választó lakik bennük. Az osztómódszerek úgy működnek, hogy a megyéket az igényük szerint sorba rakják, majd a rangsorban elfoglalt helyezésük szerint addig osztjuk ki egyesével a körzeteket, amíg minden képviselő helyet ki nem osztottunk. Tanulmányukban bemutatják, hogy minden lineáris osztómódszer felírható egy módosított kompetitív egyensúly formájában, ahol az eredeti büdzsét egy konstans összeggel (kedvezményel, vagy levonással) módosítják. A „One Man, One Vote, One Price” című tanulmány a *Mathematics of Operations Research* című folyóiratba lett benyújtva.

Ez a matematikailag szép eredmény az alkalmazások szempontjából sem elhanyagolható jelentőséggel bír. Sziklai Balázs, Kóczy Á. Lászlóval és Koltai Tamással együtt megvizsgálta, hogyan lehet a körzetkiosztó módszereket erőforrás-optimalizálásra alkalmazni. Bizonyos adminisztratív munkakörök, mint például a TB ügyintézés, kellően uniform jellemzőkkel rendelkeznek ahhoz, hogy két ügyintézőt egységnyi ámdé megkülönböztethetetlen erőforrásnak tekintsünk. A megyék közötti ügyintéző-pozíciók átcsoportosítása így növelheti a hatékonyságot. A kompetitív egyensúlyi árat az adja meg, hogy hány TB ügyre szeretnénk egy ügyintézőt szánni. A probléma érdekessége, hogy míg a körzetkiosztásban az alul- és felülreprezentáltságot is el szeretnénk kerülni, az erőforrás optimalizálás során a menedzsment sokszor csak az egyik irányra érzékeny: a túlterheltséget szeretné elkerülni, de ha egy ügyintézőre viszonylag kevesebb terhelés jut az kisebb probléma. A tanulmány egy valós minisztériumtól származó megkeresésből indult ki és jelenleg bírálat alatt áll az *OMEGA The International Journal of Management Science* című folyóiratban.

Az elmúlt három év eredményeinek áttekintése

A pályázatban három témakör volt nevesítve. A Rangkülönbségek Összegének (Sum of Ranking Differences, SRD), mint statisztikai módszertannak a vizsgálata, a közösségi hálózatokkal kapcsolatos kutatások, valamint hálózatokhoz, vagy rangsorolásokhoz köthető alkalmazások különös tekintettel a gázhálózatokra. Az alkalmazások témaköre a pályázat ideje alatt kiegészült a vesecseré-programmal kapcsolatos kutatásokkal is, amelynek szintén vannak mind gráfelméleti, mind rangsoroláshoz kötődő vonatkozásai.

Rangkülönbségek összege

A pályázati tervben, ebben a témában két cél lett megfogalmazva. Egyrészt az SRD egyik validációs elemének, a kereszt-ellenőrzéssel egybekötött statisztikai tesztelésnek, a hatékonysága volt megadva

mint kutatási kérdés. Az erről szóló elemzés – bár időben elkészült – szakmai elfogadtatása sajnos nehézségekbe ütközött. A tanulmány megszenvedte, hogy interdiszciplináris témákkal foglalkozik és egyik szakterület sem akarta magáénak tudni. Végül a *Central European Journal of Operations Research* folyóiratban lelt otthonra. A másik kitűzött cél az volt, hogy az SRD módszere a szakmai nagyközönség számára is elérhetővé váljon. Ennek érdekében egy R nyelven írt programcsomag került kifejlesztésre. Az [rSRD](#) csomag elkészült és szabadon hozzáférhető a CRAN repozitóriumában. Hamarosan benyújtásra kerül a programcsomag esettanulmányokkal kibővített dokumentációja. Ezen felül az SRD módszertana megjelent a hálózati központosági mértékek összehasonlításánál is (lásd a következő blokk).

Közösségi hálózatok

A befolyásterjedés irodalmában főként a mérnöki, optimalizációs megközelítés az elterjedt. Ennek a megközelítésnek a közvetlen következménye, hogy az innováció terjedésénél a legfontosabb szereplők az influenszerek. A közgazdasági irodalom azonban árnyaltabb képet fest és az innováció terjedését az adoptercsoportokra vezeti vissza: a kulcsszereplők az innovátorok és korai elfogadók, akik a terjedés dominó-hatását beindítják. A szerzők a két irodalom összebékítésére tettek kísérletet. Egyrészt megmutatták, hogy az adoptercsoportok azonosítására más centralitásmutatók alkalmasak, mint az influenszerekére. Másrészt szimulációs módszerekkel demonstrálták, hogy a diffúziós folyamat megváltoztatásával más-más módszerek lesznek hatékonyak a befolyásterjedés maximalizálására. Hasonló eltéréseket lehet tapasztalni, ha egyének helyett bizonyos csoportok (pl. lokális közösségek) kerülnek a kampány célkeresztjébe. Az eredmények hálózatkutatói szakfolyóiratokban jelentek meg, így sikerült a 'szakmai célcsoportot' elérni. A kutatások tovább folytatódhatnak. Egy érdekes kérdés, hogy gépi tanulási eszközökkel azonosítani lehet-e az adoptercsoportokat pusztán a hálózat struktúráját felhasználva.

Alkalmazások

A pályázat megírásakor az európai gázhálózat elemzése volt a fókuszban. Ez időközben kiegészült más témákkal, mivel a kutatócsoport tagjai több megkeresést is kaptak. A legfontosabb ezek közül a vesezsere-programmal kapcsolatos kutatások és elemzések². Az itt elvégzett munka hozzájárult a magyar vesezsere-program elindításához. A Magyar Államkincstár a társadalombiztosítási adminisztráció munkaerőelosztásának optimalizációjával kereste meg a kutatócsoportot. Az elemzés tanulságai tanulmány formájában be lettek nyújtva egy operáció-menedzsment típusú folyóirathoz. Szintén menedzsment témakörben, bár az üzleti vonalról, a MOL IT kereste meg a kutatócsoportot. A vállalat 26 000 főt foglalkoztat világszerte, így kiterjedt IT beruházások jellemzik. A vállalat projekt-portfóliójának elemzése rangsorolási és osztályozási feladatokat takart. Az erről szóló tanulmány is menedzsment folyóiratba lett benyújtva. Jellemző a magyar viszonyokra, hogy az értékes elemzésért pénzügyi ellenszolgáltatást nem kapott a kutatócsoport, csupán az adatokat tarthatta meg. Végezetül a pályázatban célként kitűzött gázhálózati elemzés is elkészült, az erről szóló tanulmány meg is jelent. Gazdaságpolitikai hatásai ennek a kutatásnak is vannak, hiszen ez a projekt is a Magyar Energia- és Közmű Hivatal (MEKH) megkereséséből indult ki. Az orosz-ukrán háború, valamint az Északi Áramlat 2 vezeték felrobbantása különösen törekennyé tette az európai földgázellátás rendszerét. Az elemzés feltárja, hogy ezen események kapcsán milyen ellátásbiztonsági gondok merülhetnek fel. A fentiekből is látható, hogy az elméleti eredmények mellett a kutatócsoport nagy hangsúlyt fektetett arra, hogy a különböző kormányzati, vagy üzleti megkereséseket megválaszolja. Az NKFIH prioritásként kezeli a

² A vesezsere-program Bíró Péter Lendület pályázatának egyik kulcseleme. A jelen pályázat csupán részlegesen járult hozzá az ezzel kapcsolatos kutatásokhoz. Ugyanakkor ez a hozzájárulás szignifikáns ahhoz, hogy az eredmények releváns része ebben a beszámolóban is feltüntetésre kerüljön.

gazdasági hasznosítást, ehhez azonban nem csak a kutatócsoportok nyitottságára van szükség, hanem egy szemléletváltásra a vállalati oldalon is.

Tudományos disszemináció

A publikációkon felül, a szerzők az alábbi konferenciákon népszerűsítették az eredményeiket:

Academia-Industry Matching Event, Budapest, 2022 (Sziklai)

KOI 2022 – 19th International Conference on Operational Research, Šibenik, 2022 (Benedek)

SING18 - 18th European Meeting on Game Theory, Messina, 2023 (Benedek, Sziklai)

Magyar Operációkutatási Konferencia, Budapest, 2023 (Benedek, Sziklai)

Coalition Theory Network, Budapest 2024 (Benedek)

Alkalmazott Matematikai Konferencia, Szeged, 2024 (Benedek)

Conference on Institution and Mechanism Design, Budapest, 2024 (Benedek, Sziklai)

EURO 2024 - 33rd European Conference on Operational Research, Koppenhága, 2024 (Sziklai)

Pénzügyi jelentés

A tervezettől való lényeges eltérés nem történt. Előre nem látható költségeket, csupán egy laptop javítása (74 000 Ft), valamint egy tönkkrement telefon cseréje (146 000 Ft) okozott.

Budapest, 2024. 09. 27.



Dr. Sziklai Balázs Róbert