

Bírálat

**Palla Gergelynek az MTA doktora cím elnyerésére benyújtott,
"Komplex hálózatok szerkezetének és dinamikájának feltárása és modellezése statisztikus
fizikai módszerekkel"
című disszertációjáról**

A dolgozat alapjául szolgáló hálózat kutatás fontosságát nem kell különösképpen hangsúlyozni. A kölcsönható egyedek alkotta komplex szerveződések, amelyek hálózatokkal könnyen megragadhatóak, körülvesznek minket minden skálán, a szubatomi részekről egészen a galaxisokig, ezért a rájuk vonatkozó általános tanulságok széles körben alkalmazhatóak. Annak az okát, hogy a hálózatelméleti kutatások népszerűsége az elmúlt közel húsz évben robbanásszerűen nőtt utólag már könnyű megérteni: egyrészt a digitális technológia olyan szinten beépült a mindennapjainkba, hogy ma már könnyen lehet olyan adatokhoz hozzáférni, amit az említett hálózat kutatási módszerrel sikeresen lehet vizsgálni, másrészt a számítógépek teljesítményének a fejlettsége is elérte azt a szintet, ami miatt a hálózati analízist végrehajtó algoritmusok is értelmes kereteken belül lefuthatnak. Ennek következményeként ma már a hálózat kutatással foglalkozó közlemények aránya elérte a teljes humán- és természettudományos publikációk egytizedét, de a növekvő arányt leíró görbén még nem látszanak a telítődés jelei ... A dolgozat magját jelentő munkásság kiválóan illeszkedik ebbe a trendbe, ugyanakkor itt lényegesen többről van szó, mint csupán egy prosperáló területhez történő egyszerű hozzájárulásról. A kulcs publikációk óta már kellő idő telt el ahhoz, hogy a tudományos közösség véleményt alkothasson róluk és könnyedén megállapítható az, hogy a pionírokat jellemző "jót és jókor" kutatás el is nyerte méltó jutalmát.

A dolgozat 6 tézispontra épül, ami 5 fő fejezetben foglalja össze a szerző munkásságát. Az első fő fejezet, amely leginkább kapcsolódik a statisztikus fizika hagyományos terminológiájához, a hálózatokon megfigyelhető topológikus fázisátalakulásokat tárgyalja. Ezzel kapcsolatban a szerző analitikusan meghatározta a szabadenergia rendparaméter és effektív hőmérséklet-függését az egyrésezcskés energiafüggvények által meghatározott kanonikus gráfsokaságokban, ami lehetővé teszi az említett fázisátalakulások megfigyelését. Az analitikus számításokat speciális esetekben numerikusan is ellenőrizte.

A dolgozat második fő fejezete az ún. k -klikkek véletlen gráfokon megfigyelhető perkolációs átmenetéhez kötődő elméleti eredményeket tartalmazza. A szerző meghatározta a fázisátalakulási ponthoz tartozó kritikus élbekötési valószínűséget, illetve szimulációk segítségével meghatározta az „óriás” klaszter méretét az élbekötési klaszter függvényében. Külön alfejezetként tárgyalja az k -klikk perkolációt az irányított Erdős-Rényi gráfban és az analitikus eredmények mellett algoritmust dolgozott ki a maximális irányított klikk azonosítására is. Ez lehetővé tette több, nagyméretű irányított gráf csoportszerkezetének a feltárását is.

A következő fejezet egy hálózati csoportkeresési algoritmust tárgyal, amit a szerző és társai vezettek be. Ebben a munkában az algoritmus programnyelvi interpretációja és az elkészült program segítségével a konkrét hálózatok csoportszerkezetének a feltárása kötődik a szerzőhöz. Fontos kiemelni, hogy az irodalomban számtalan alternatív módszert javasoltak ezért a szerző gondot fordított arra, hogy röviden értékelje a rivális eljárásokat, valamint kiemelje az általuk javasolt módszer erőseit, illetve az alkalmazhatóság korlátait.

A 4. fejezet logikus következménye az előzőnek, amelyben az ismertetett eljárást arra használják, hogy egy időben fejlődő hálózatban megfigyelhető csoportdinamikáról szerezzenek megfigyeléseket. Ez technikailag is egy igen nehéz feladat, amelynek megoldásához a szerző egy időben változó élsúlyokkal rendelkező megközelítést javasolt. Ezt a módszert a társszerzők segítségével rendelkezésre álló két nagyméretű adatbázison tesztelte és a csoportok stabilitási kritériumára egy plauzibilis konklúziót sikerült leszárnia.

A disszertáció gerincét jelentő utolsó fő fejezet kissé elkülönül az előzőektől és az ismert, vagy valós adatokból kinyerhető hálózatok analízise helyett egy gráf generáló eljárást ismertet. Az itt bemutatott projekt motivációját az adta, hogy a hálózat kutatás korai szakaszában a vizsgált hálózatok kissé ötletszerűen bukkantak fel, ezért a szisztematikusan generálható, sokféle ismert tulajdonságot lefedő gráfgenerálási módok hiányoztak. Ebből a szempontból üdvözlendő az az általános keretrendszer, ami az előbbiek alapján egy kontrollált módszert javasol. Mindez a klasszikus diszkrét matematika és a közel 30 éve a statisztikus fizikában virágkorát élő multifraktál koncepció gyümölcsöző szimbiózisa révén teljesíthetett ki.

Az MTA doktora cím hagyományosan a kutatók egyéni teljesítményét ismeri el, ezért az annak elnyerésére benyújtott dolgozat bírálójával szemben jogosan elvárt igény az, hogy ezt értékelje. Manapság a kutatómunka kisebb-nagyobb csoportokban folyik ezért ez a feladat esetenként igen kényes is lehet. Szerencsére a jelen dolgozat szerzője megkönnyítette a bíráló dolgát, mert elegáns módon a társszerzők hozzájárulását a dolgozat függelékeiben ismerteti, illetve mások hozzájárulásáról a dolgozatban folyamatosan megemlékezik. Így az előbb vázolt bírálói feladat elvégezhető, de a dolgozat olvashatósága sem csorbult. Maga a disszertáció is gondosan szerkesztett, nyelvezete és fogalmazása is kiváló.

A fő eredmények 8 közleményben jelentek meg, amelyek mindegyikét a tudományos közösség által igen magas szinten elismert folyóiratok közölték. Fontos még megemlíteni, hogy a szerzőnek a témához kapcsolódóan 15 további közleménye is van, ahol szintén vezető vagy meghatározó társszerző volt.

A disszertációval kapcsolatban a szerzőnek a következő kérdéseket teszem fel.

1) A 3.3.3-as a "csoportok hálózata" alfejezet felveti azt a kérdést, hogy milyen eredményt adna az, ha a klikk-perkoláción alapuló csoportkeresési módszert a csoportok hálózatára is alkalmaznánk (esetleges kisebb k -val, mint az eredeti klikk-méret)? A fizikában ismert fázisátalakulásoknál használt technikák mintájára esetleg lehet-e ilyen módon egyfajta "renormálást" csinálni és ezáltal bizonyos csoport-agglomerátumokat azonosítani? Esetleg volt-e a szerzőnek ilyen jellegű próbálkozása, vagy ha nem, akkor milyen praktikus ok indokolja azt, hogy kár ebbe az irányba erőfeszítéseket tenni?

2) Egy számomra nem egyértelmű apróság a 4.10-es ábra kapcsán az, hogy milyen módon definiált csoportméret függvényében van az átlagos élettartam ábrázolva? Mint ahogy a 4.11d ábra is szépen illusztrálja, egy csoport mérete dinamikus változhat, így az " s " érték se állandó. A csoport induló értékét, vagy valamilyen időátlagot tekintsük-e a 4.10-es ábrán szereplőnek?

3) Ugyanehhez a részhez kapcsolódik a tárgyalt csoportdinamikai modell alkalmazhatósága. Nyilvánvalóan ez egy nagyon fontos, széles körben (pl. vállalatok fejlődésére vagy más biológiai rendszerekben) érvényes modellcsalád. De a bemutatott lényegében topológiai analízis nem veszi figyelembe azt, hogy a csoport élettartama nem feltétlen elsődleges

fitnesze a csoportnak, hanem inkább annak egy következménye. (Pl. valamilyen szempontból sikeres csoport inkább együtt marad, míg a sikertelen könnyebben átalakul.) Természetesen a "valódi" fitnesszt a szereplők konkrét kölcsönhatásából lehetne származtatni, amit egy ilyen általános modelltől nem várhatunk el. Éppen ezért meglepő az, hogy mégis ilyen szemléletes és a mindennapi tapasztalatainkkal összhangban álló jóslatokra képes még ez általános modell is. Van-e esetleg valamilyen elképzelése a szerzőnek arra vonatkozóan, hogy mi az az általános tulajdonság, ami ennek a robusztusságnak a hátterében áll?

4) A dolgozat utolsó fejezetéhez érve az olvasóban önkéntelenül is felmerül az, hogy az előző fejezetekben ismertetett csoportazonosítási módszert milyen eredménnyel lehetne alkalmazni a javasolt multifraktálokon alapuló generált gráfokra? Esetleg ilyen módon kapcsolatot lehetne teremteni a csoportokat leíró statisztikai tulajdonságok és a generálás alapjául szolgáló $L(x,y)$ függvény bizonyos tulajdonsága között. A szerző véleménye szerint milyen csoportkeresési módszerek jöhetnének itt szóba?

Összefoglalva, a doktori értekezés magas színvonalú és nagyívű tudományos munkásságot tükröz. A tézisekben foglalt eredményeket a szerző önálló kutatási eredményeinek ismerem el. Szeretném hangsúlyozni, hogy a kérdésekre adott válaszoktól függetlenül a doktori munka tudományos eredményeit messzemenően elegendőnek tartom az MTA doktora cím megszerzéséhez és a nyilvános vita kitűzését javaslom.

Budapest, 2017. április 18.

Szolnoki Attila