

## 4. Beszámoló (2018/2019/2 félév)

Balogh Gáspár Sámuel ([balogh@hal.elte.hu](mailto:balogh@hal.elte.hu))

Statisztikus Fizika, Biológiai Fizika és Kvantumrendszerek Fizikája doktori program

Témavezető: Pollner Péter, Palla Gergely

### 1, Az előző három félévben elért kutatási eredmények összegzése

#### 1a, Idegsejtek korrelációs hálózatának elemzése

A doktori kutatásom mindegyik félévére kiterjedő projektben, Baracska Péterrel (Institute of Science and Technology Austria) együttműködve állatok (patkányok) tanulási folyamatával foglalkoztunk. Az állatok tanulási fázisában kapott kutatási eredmények azt mutatják, hogy az állatok jutalmazása révén bizonyos, ún. helysejtek együttmozgása aktiválódik, azaz megfelelő sejtek közötti erős, pozitív korreláció jön létre, amely a kísérlet többszöri megismétlésével (időfejlődés) tovább erősödik. A kutatás alapján különböző sejtek együttmozgásából kialakuló egyedi, csak az adott jutalmazási-lokációra ( $R_i$ ) jellemző hálózati mintázatokat kerestünk csoportkeresési algoritmusokkal, amelyekről kijelenthető, hogy a jutalmazási lokációk helyét kódolhatják az agyban. Továbbá azt is megfigyeltük, hogy ezek az egyedi mintázatok az időfejlődés során (tanulás) stabilizálódnak. A harmadik félévben történő munkám során kezdtem foglalkozni az állatok alvási fázisában (tanulás utáni fázis) mért adatokkal is.

#### 1b, Rejtett paraméteres hálózat-modell

Kutatómunkám ezen részében a rejtett paraméteres hálózat-moddellel foglalkoztam, főként analitikus megfontolások mentén vizsgálódva. A munkánkban azt találtuk, hogyha egy kezdetben izolált hálózat csúcsaihoz tetszőleges  $\rho(x)$  fitnessz-eloszlásból húzva véletlenszerű  $x$  értékeket rendelünk, akkor mindig található egy  $f(x,y)$  élősszekötési mechanizmus, amely  $P(k) \sim k^{-2}$  fokszám-eloszlású skálafüggetlen hálózatot generál. Ez az elméleti eredmény magyarázatot adhat statikus aktivitási hálózatok (olyan hálózatok, ahol a hálózat élei a csúcsok aktivitási/fitnessz paramétereitől függően jönnek létre) skálafüggetlen tulajdonságára, ahol a csúcsok aktivitási paraméterei nemtriviális eloszlást követnek. A kutatásból kézirat készült, amely a *Scientific Reports*-ba lett beküldve.

#### 1c, MeSH hierarchiák időfejlődése

Adatfeldolgozási és numerikus módszerekkel vizsgáltam MeSH orvosi és biológiai kulcsszavak között felépülő irányított, hierarchikus hálózatok időfejlődését. Előző félévemben a hierarchiákban lévő strukturális változások (pl. élek bekötődése, csúcsok törlése etc.) kvantitatív elemzésével és néhány érdekes preferenciális függést mutató mennyiség vizsgálatával foglalkoztam.

#### 1d, Általánosított entrópiafogalmak

Doktori kutatómunkámban vizsgáltam általánosított entrópiafogalmak nemlineáris Fokker-Planck egyenletekkel való kapcsolatát, továbbá részt vettem egy review-cikk elkészítésében, amely az eddig tanulmányozott, általánosított entrópiafogalmak (pl. c,d entrópia, Tsallis entrópia) alkalmazhatóságával, kiterjeszhetőségével, elméleti tulajdonságaival foglalkozik. A két téma részletes leírása megtalálható az előző beszámolómban.

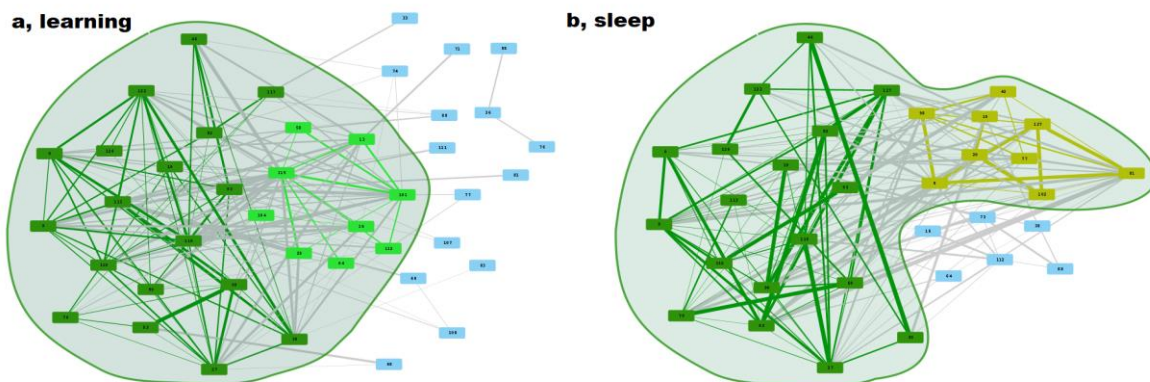
## 1e, Színezett hálózatok

2018 őszén tanulmányi úton vettem részt az Amszterdami egyetemen, ahol Ivan Kryvennel dolgoztam együtt. Vezetésével, közös kutatómunkánkban ún. 'színezett' hálózatokkal foglalkoztunk.

## 2, Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése

### 2a, Idegsejtek korrelációs hálózatának elemzése

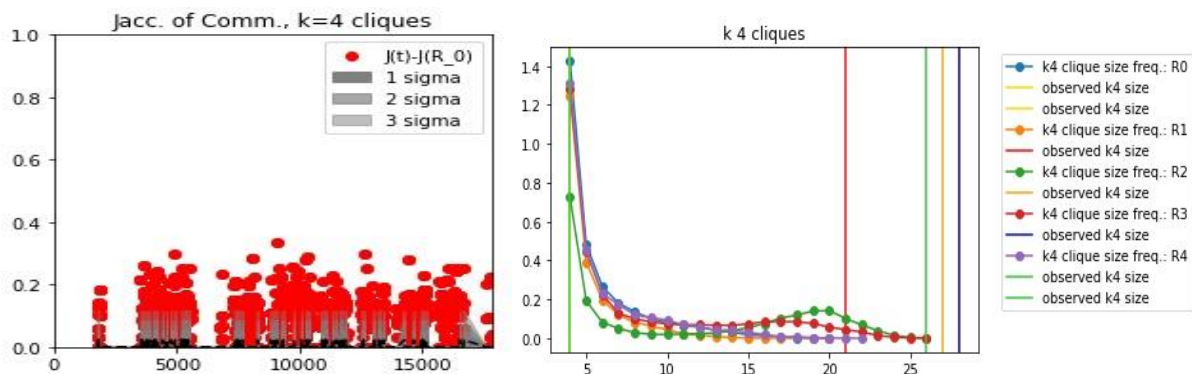
Az előző félévben történő adatcsiszolási és zajszűrési mechanizmusokat befejezve, azzal a kérdéssel kezdtem foglalkozni, hogy a tanulási fázisban kialakuló egyedi mintázatok (amelyek az adott lokációhoz tartozó információt kódolják az állat agyában) felbukkannak-e az alvási folyamat során (sleep). Az álombeli adatokban talált, R2 lokációt kódoló mintázathoz leghasonlóbb csoportstruktúra az 1.b ábrán található (az 1.a ábrán az R2 lokáció mintázata van feltüntetve, összehasonlítás végett).



1. ábra: Álombeli b, és tanulási fázisban a, megtalált, leghasonlóbb hálózatok vizualizációja. A sötétzöld színnel jelölt részek közös mintázatok a két hálózatban.

Az előzetes numerikus szimulációk alapján ez a hasonlóság meglehetősen szignifikáns érték ekkora csoportméretek mellett (Jaccard index=0.5), jelezve, hogy az állat agyában az alvás folyamata során memórianyomok bukkannak fel a jutalmazási-tanulási folyamat során kódolt lokációk információját hordozva. A teljes alvási fázis során mért hasonlósági értékek (Jaccard index) a 2. ábrán láthatóak az R0 lokáció esetében. Az előzetes statisztikus becslések és numerikus szimulációk azt jelzik előre, hogy bizonyos esetekben ezek a hasonlósági értékek szignifikánsak, vagyis az állat mintázatok alapján elevenítheti fel a jutalmazási-tanulási folyamatban kódolt hely-információkat.

3. ábra: Csoportméretek előfordulási statisztikája.



2. ábra: Az álombeli adatok R0 mintázathoz mért hasonlósága.

Az álombeli adatok kiértékelése mellett azt is vizsgáltam, hogy a tanulási fázis során kialakult egyedi, lokációkat kódoló mintázatok mennyire szignifikánsak. Ez úgy tehető meg, hogy a hálózatok fokszámeloszlás tartó randomizációjával, nagy számú kísérletet elvégezve vizsgáljuk a csoportméretek átlagos előfordulási statisztikáját 3.ábra. Látható a 3.ábrán, hogy a megfigyelt csoportméretek kis gyakorisággal következnek be, ami azt jelenti, hogy ezen mintázatok megjelenése nem magyarázható csupán a véletlenszerűséggel, valamint, hogy ezek a mintázatok szignifikáns információt hordoznak a rendszerről. Ez a kutatás előrehaladott állapotban van, több érdekes, biológiai vonatkozású eredmény született, azonban a projekt nehézségi és összetettségi szintjét figyelembe véve további analízisek és eredmények várhatóak.

## **2b, Rejtett paraméteres hálózat-modell**

Az előző beszámolóban ismertetett rejtett paraméteres hálózatmodellből íródott kézirat a *Scientific Reports*-ba lett beküldve. A kézirat jelen státuszát tekintve második körös referálását várja. A félévbeli munkám során az első körös bírálatra kapott kritikák, megjegyzések elemzésével, ezek kijavításával és a kézirat átszerkesztésével, újrastrukturálásával, újraértelmezésével és további interpretációk hozzáadásával is foglalkoztam.

## **2c, MeSH hierarchiák időfejlődése**

A korábbi félévben elkezdett kutatások folytatásaként kifejlesztettünk egy hálózatelméleti/ matematikai formalizmust növekedő hálózatokra, amelyben az újonnan bekötődő csúcsok preferenciális kapcsolódása vizsgálható (adott tulajdonságra vonatkoztatva). Ezt a formalizmust alkalmaztuk időfejlődő hierarchiák (7 nagyméretű MeSH hierarchia) esetében is, számos hierarchiákra jellemző topológikus tulajdonság szerinti preferenciát vizsgálva: ki- és be-fokszám, leszármazottak száma, elődök száma. Az kapott eredményeink azt mutatják, hogy a hierarchikus rendszerek növekedése a reguláris hálózatokéval szemben, nemtriviális és komplex preferenciális mintázatot mutatnak. Statisztikai és numerikus megfontolásokkal azt is megmutattuk, hogy az éltörési és az átkötési mechanizmusok nagyban formálják a hierarchiák strukturáját. Továbbá, egy szisztematikus keretrendszerben megvizsgáltuk (mind a 7 hierarchia esetében), hogy milyen preferenciális szabályok alapján kötődhetnek be új elemek a hierarchiákba. Vizsgálatainkban 40 különböző preferenciális szabályt elemeztünk feltérképezve a növekedő hierarchiákban elképzelhető növekedési szabályok teljes skáláját. A számos preferenciális és anti-preferenciális szabály mellett azt is kimutattuk, hogy bizonyos tulajdonságok szerinti nem-monoton preferencia is jelen van valamint, hogy az éltörési mechanizmusok is preferenciális szabályok mentén valósulnak meg. Az eredményekből kézirat született, amelyet a PloS ONE újságba küldtünk be és jelen státuszát tekintve bírálatra vár.

## **2e, Színezett hálózatok**

A 2018 őszén az Amszterdami egyetemen tett tanulmányi utam során, Ivan Kryvennel történő közös munkámat is folytattam. Ez a projekt ún. él-színezett hálózatokkal foglalkozik, ami tulajdonképpen egy, az éleken értelmezett színfüggvényt jelent, ahol a színeket az él végpontjain lévő csúcsok tetszőleges, általános címkéje definiálja. A kutatásban az előző félévhez képest jelentős előrelépés történt, amelyben a színezés egy általánosabb definícióját vizsgáltuk és a kapott eredményeket a perkoláció témakörével hoztuk kapcsolatba. A kidolgozott módszer egyik fontos eredménye, hogy perkolációs folyamatok kvantitatív leírását teszi lehetővé olyan hálózatokban, amelyekben a hálózat strukturáját (és ez által a perkoláció folyamatát) lokális mennyiségek befolyásolják, pl. csoportfelbontás, fokszám-fokszám korreláció.

## 2f, Statikus hierarchia generálás

Ebben a félévben egy külföldi vendég diákkal és témavezetőmmel Palla Gergellyel való közös munkába is bekapcsolódtam, amelyben hierarchiagenerálással foglalkozunk. A projekt célja egy olyan statikus hierarchia modell létrehozása, amellyel valóságos hierarchiák (MeSH hierarchiák, gene ontologies) alapvető tulajdonságait tudjuk reprodukálni.

## 3, Publikáció

### *megjelent publikációk:*

D. Czégel, S. G. Balogh, P. Pollner, G. Palla, Phase space volume scaling of generalized entropies and anomalous diffusion scaling governed by corresponding non-linear Fokker-Planck equations, *Scientific Reports* **volume 8**, Article number: 1883 (2018). <https://www.nature.com/articles/s41598-018-20202-w>

J. M. Amigó, S. G. Balogh, S. Hernández, A Brief Review of Generalized Entropies, *Entropy* **20**, 813 (2018). <https://www.mdpi.com/1099-4300/20/11/813>

### *bírálat alatt álló kéziratok:*

S. G. Balogh, P. Pollner, G. Palla, Generalised thresholding of hidden variable network models with scale-free property (*Scientific Reports*)

S. G. Balogh, D. Zagyva, P. Pollner, G. Palla, Time evolution of the hierarchical networks between PubMed MeSH terms (*PLoS ONE*)

### *előkészületben lévő publikációk:*

A félév során az előző beszámolómban részletesebben bemutatott színezett hálózatokat tárgyaló munkán dolgoztam sokat. A készülő munka a 3. beszámolóban bemutatott állapothoz képest előrehaladottabb állapotban van, több érdekes további eredmény született, amelyek él-színezett hálózatok perkolációs átalakulásaihoz köthetők. A projektből előreláthatólag idén kézirat születik.

## 4, Konferencia

- (második félév) 2018 májusában részt vettem a Barcelonában megrendezésre kerülő Entropy 2018: From Physics to Information Sciences and Geometry konferencián, ahol poszterrel szerepeltem.
- (harmadik félév) 2018 decemberében részt vettem a Cambridge városában megrendezésre kerülő *Complex Networks 2018* konferencián. A konferencián előadóként szerepeltem.
- (negyedik félév) 2019 áprilisában előadói szerepben jelen voltam a Statisztikus Fizikai Napon.

## 5, Tanulmányi út

2018 őszén külföldi tanulmányi úton vettem részt az Amszterdami egyetemen (3. beszámoló).

## 6, Tanulmányi tevékenység (4. félév)

Jelen félév során hallgatója voltam Szabó György 'Evolúciós játékelmélet' című kurzusának.

## 7, Oktatási tevékenység

### *Modern fizika laboratórium*

A doktori képzésem mindenik félévében fizika alapszakosoknak és tanári szakos hallgatóknak kiírt 'Modern Fizika laboratóriumi gyakorlatok'-hoz tartozó Diffúzió mérést tartottam, 6-8 alkalommal, egyenként 4 óra hosszában.

### *Valószínűségszámítás*

A fizika alapszakosoknak szóló valószínűségszámítás gyakorlatba való besegédkezés. Feladatköröm része volt a jobb érdemjegyre pályázó diákoknak kitűzött versenyfeladatok megkonstruálása, tematikához igazítása valamint a diákok beküldött feladatainak kijavítása és értékelése.