

## Tisztelt Bizottság!

Az alábbiakban röviden összefoglalom a Doktori Iskolában töltött harmadik félévem munkáját.

### Bevezetés, áttekintés

A nyár folyamán az előző félévi beszámolómban ismertetett önszerveződő drónforgalomra vonatkozó eredményeinkből írtunk **cikket**. [1] Az íródó anyag a folyamat során utólag sok összefüggést megvilágított, és így néhány új gondolat hozzáragasztására sarkallt minket. Végül arra jutottunk, hogy túl sok az új koncepció a csoport legutóbbi publikációjához képest ebben a témakörben. Így, noha eredetileg pont ez a probléma vezetett engem a témához, a beküldött kéziratból kihagytuk az egyébként jól működő akadálykerülést, és kizárólag a szabad térben **ágens alapon szerveződő autonóm drónforgalom** új algoritmuselemeivel és azok paramétereivel foglalkozunk. A cikk elbírálása éppen a beszámoló beküldése előtt érkezett meg. Elfogadták, így májusban a világ legnagyobb **robotikai konferenciáján (ICRA)** prezentálhatom az eredményeinket.

Szeptembertől a drónflotta különböző viselkedésmódjait (rajban repülés, forgalom, alakzat repülés) igyekszik csoportunk hatékonyabbá tenni, mégpedig **hierarchiák**on keresztül. Természetesen a konkrét feladatok kihívásainak legyőzésén túl nagyon érdekes lenne látni, hogy milyen univerzális tulajdonságai vannak a közel optimálisan hatékony működést elősegítő hálózatoknak. Én elsősorban a forgalommal foglalkoztam, hiszen a kéziratunknak ez a logikus továbblépése, de sok inspiratív ötletelésen vettem részt a rajban repülést illetően is.

A félév folyamán a diplomamunkámból készült kéziratot is kissé átdolgozva új folyóiratba (*Gravitation and Cosmology*) tudtuk beküldeni. [2]

### Végzett kutatás

A cikkben [1] **négy új kölcsönhatási taggal** oldjuk meg a forgalom önirányítását. A minden kollektív repülés biztonságához elengedhetetlen taszítási és sebességrendezési tagok végső megoldás szerepét egy célszerűen megválasztott, az ágenseket a céljuk felé agilisan mozgató önhajtó tag újraértelmezheti. Az új taszítás a szomszédos ágensek viselkedésére anizotróp módon reagálva teheti gördülékenyebbé a mozgást, míg a sebességrendezési tag inkább preventív célokat szolgál, így az ágens megválaszthatja, hogy melyik szomszédaitól érdemes tartani, és csak azokhoz idomítania a sebességét.

Az ezeket a változásokat lehetővé tévő agilis önhajtó tag az ágens útjában álló többi ágens pillanatról-pillanatra úgy kerüli ki, hogy csökkenti a feléjük irányuló sebességkomponenst, és a maradékot még a veszélyes ágens bizonyos sugarú környezetét elkerülő pálya irányába is fordítja. Az eszerint viselkedő ágensek mozgékonyan cikázva kerülik ki egymást, egy biztonságos távolságon belül csak a véges gyorsulásnak és az késleltetett információknak köszönhetően kerülve. Mivel ez a távolságon belül még mindig nincs közvetlen veszély, ezért ezeket a szituációkat úgy tudja az anizotróp taszítás feloldani és a szelektív sebességrendezés megelőzni, hogy az nem hátráltatja szükségtelen

mértékben a cél felé haladást. A közös célok generálta konfliktusok előrelátó megoldását szolgálja a negyedik kölcsönhatási tag, ami radiális távolság szerint várakozásra készíteti az ágenseket. A közös céltól legtávolabbi, ám önmagánál még így is közelebbi társaiktól tartandó távolság úgy hoz létre globális mintákat, hogy csak lokális információkat használ. Az algoritmus használhatóságát a 30 drónból álló rajjal is demonstráltuk. Sikerrel.

Az így kialakuló forgalom kölcsönösségen alapul, azonban az agilis önhajtás akkor is körbevezeti egy szomszédja körül az ágenst, ha a szomszéd a potenciális veszélyre fittyet hányva halad célja felé. Az a nyom, hogy két **ágens közötti különbségtétel** - csak az egyikükre hárítva az elkerülés felelősségét - hatékonyabb mozgáshoz vezet, arra vezetett minket, hogy úgy vezessük be a hierarchiát a modellbe, hogy a fölérendelt ágensek alárendeltjeiket csak a legszükségesebb esetben, kis távolságon kerülnek ki, míg az alárendelték az egalitáriánus esetben optimálisnak talált távolságot igyekeznek tartani. Hosszas próbálkozásosorozat végén arra jutottam, hogy 4 ágens esetén a felsőháromszög szomszédosági mátrixszal jellemezhető hierarchia minimális biztonságkockázat-növekedés mellett jelentős hatékonyságnövekedést hoz. Több ágens esetén viszont ez a hierarchia túl sok terhet ró az alján szolgáló egyed(ek)re, akik túl sok fölérendelt egyidejű kikerülését nem tudják teljesíteni, így végül ütközések következnek be. A problémát orvoslandó olyan hierarchiát kell eszközölni, ami a legtöbb négyes csoportra vetítve teljesen tranzitív lánc hierarchiát (azaz felsőháromszög szomszédosági mátrixút) ad, de ötös csoportokra már a négyes csoport csúcsán állót kényszeríti alkalmazkodásra. Mindezt úgy, hogy a legtöbb pár között legyen megkülönböztetés, mert az elősegíti a térbeli antikoordinációs játék gyors megoldását. 8 ágens esetén teljesíti ezeket a feltételeket az a 2x2-es blokkmátrix, aminek a diagonális blokkjai 4x4-es felsőháromszög, az offdiagonális blokkjai pedig 4x4-es alsóháromszög mátrixok. Ez a hierarchia **8 ágens esetén** valóban **jelentős javulást** hoz a forgalom hatékonyságában, ami rendkívül ígéretes eredménynek tűnik. Annyiban azonban ki kell egészíteni az eszmefuttatást, hogy valójában a legkülönbözőbb hierarchiák hibáit intuitív hipotézisekkel magyarázva, azt újabb hierarchiákkal tesztelve, majd a konklúziókat levonva újabb próbálkozásokon keresztül jutottam a legoptimálisabb hierarchiához, majd visszamenőlegesen az inkább-jó-mint-rossz irányba mozdító hipotézisek plauzibilis keverékét ismertettem fentebb.

A legutóbbi hetek fejleménye is beleront az idealisztikus képbe. A hierarchia logikája azt diktálja, hogy mivel az egyik ágens szinte zavartalanul folytatja útját, míg a másik egyed kikerüli őt, ezért konstans **sebességet hozzárendelve** a szomszédokhoz, mint mozgó akadályokat kerülgessen az alárendelt ágens. A szükségszerűen felmerülő technikai részletek tisztázása után sikerült erre az alapra helyezni az algoritmust, ami minden eddiginél hatékonyabban használja fel a rendelkezésre álló teret, így időt is takarít meg a forgalomnak. Az **új koncepció** annyira jól működik, hogy a hierarchia egyelőre nem tud rajta javítani. Ez persze nem jelenti azt, hogy ebben a rendkívül összetett problémakörben ez lenne a végső szó, a továbblépés irányai alighanem rövid időn belül felfedik magukat.

### *Konferenciák és előadások*

A félév során a kutatócsoport házi konferenciáján prezentáltam az ICRA-ra beküldött munkánkat. Külföldi munkatársak kedvéért angolul tartottuk a konferenciát, így lehetőségem volt elég valóságghűen elpróbálnom a májusban rám váró helyzetet.

### *Tanulmányi és oktatási tevékenység*

A félév során a **Táplálékhálózatok szerveződése** c. tárgyon a hálózatelemzési módszerek széttartó tendenciái közepette a közöst kereső, összefésülni igyekvő kutatásokról hallhattam bővebben, míg az **Emberi kooperáció evolúciós eredete** c. szemináriumon az első félévi beszámolómban pedzegetett gondolataim köré kaptam kontextust. Reményeim szerint a következő félévben újra fel tudom venni ott is a fonalat, koherens gondolatmenetté szervezve az eddigi és a jövőbeli eredményeket.

Ahogy eddig is, laborvezetőként segítettem a Tanszék munkáját a Modern Fizika Laboratórium tárgyban, a Holográfia c. mérést ezúttal egyedül tartva a félévben.

### *Beküldött kéziratok jegyzéke*

[1] Balázs B. és Vásárhelyi G., "Coordinated dense aerial traffic with self-driving drones," *IEEE International Conference on Robotics and Automation, accepted paper*

[2] Balázs B. és Bene Gy., "Simplified model of voids able to mimic accelerating expansion at high  $z$  without dark energy", *Gravitation and Cosmology, manuscript under revision*