

## Opponensi vélemény

Dr. Vásárhelyi Gábor

### „Intelligens drónrajok vezérlése és alkalmazása”

c. akadémiai doktori értekezéséről

#### 1. A témaválasztás

Az értekezés mind műszaki-technológiai, mind nemzetgazdasági, mind társadalom-emberi szempontból kiemelt témával, a drónokhoz köthető vezérléssel foglalkozik. A drón ökoszisztémához köthető problémahalmaz globálisan kutatott, hazánkban a kérdéssel számos hazai finanszírozású K+F projekt, stratégiai jelentőségű fejlesztés, több nemzeti labor (pl. Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium, Kooperatív Technológiák Nemzeti Laboratórium), és a Magyarországi Drón Koalíció is foglalkozik. A drón ökoszisztémán belül az értekezésben taglalt csoportos robotok (drónok) decentralizált, önszerveződésre képes rajainak koordinációja és kooperációja stratégiaileg kiemelet fontosságú ágazat, a biztonság, a kapacitás, a légtér integráció és egy sor további légiközlekedéshez köthető alapvető KPI vonatkozásában. A bio-inspirált megközelítés úttörő jellegű, mely jelentősen túlmutat az általános megközelítésekkel, így az azokhoz köthető kapacitás, humán faktor és egyéb problémák halmazán is. A téma egyben továbbfejlesztés, adaptáció és technológia transzfer útján jelentős potenciállal bír a hagyományos légiközlekedéshez köthető Air Traffic Management területen is.

A jelölt értekezésében taglalt egyedi megközelítés, a kidolgozott matematikai módszerek, modell-alkotási eljárások, valamint a világszinten is demonstrált úttörő eredmények meggyőzően bizonyítják a témaválasztás helyességét, a szerző megfelelő jártasságát, kompetenciáját, és az eredmények világszinten is mérhető újdonságtartalmát, felhasználhatóságát.

Az értekezés erőssége az élőlények mozgásánál megfigyelt jelenségek átültetése a modellezésbe, mind például a környezet mozgásának predikciója, a hierarchikus vezető-követő viszony, vagy a csoport szintű viselkedés sémák.

A Szerző széleskörű ismereteit és kutatási eredményeinek piaci hasznosíthatóságát bizonyítja, a stratégiai jelentőségű kutatásokban való aktív szerepvállalás, a világszinten is bemutatott drón show-k (az augusztusi tűzijátékoktól az angol királynő kerti rendezvényéig), valamint a területhez köthető kimagasló számú hivatkozások száma.

A témalehatárolás egyértelmű, tudományos vonatkozásban azonban izgalmas lett volna kitekintést adni – a megfelelő adaptálás után - egyéb felhasználási lehetőségekbe, például az autonóm közúti járművek területén.

## **2. Az értekezés kitűzött célja**

A szerző 2009-ben csatlakozott a csoportos mozgás dinamikájával, és csoportos robotika alkalmazásával foglalkozó kutatócsoporthoz az ELTE-n. A biológiai rendszerek tulajdonságainak alapvető elemzése után, a jelölt a figyelme a drónok csoportos viselkedésére, vezérlésére fókuszált. Az Értekezés a jelölt utolsó pár évtizedhez köthető tudományos életútján keresztül mutatja be a kidolgozott modellezési, szimulációs és valós körülmények között demonstrált eredményeit.

Az értekezés célja elméleti és gyakorlati megoldást kínálni a csoportos robot mozgás, a rajrepülés, az üldözés-menekülési helyzetek és a drón forgalmi szituációk stabil, skálázható kezelésére, az analitikus irányításméleti megközelítés helyett, a biológiai rendszerek ágens-alapú modellezésének módszerével, az élőlények mozgásánál megfigyelt jelenségek átültetésével.

Bár az Értekezésben nem jelenik meg egzaktul, de a kutatás hipotézise, hogy a javasolt bio-inspirált megközelítéssel – az irodalomban fellelhető egyéb hagyományos eljárásokhoz képest - jelentősen növelhető a drónrajok irányításához köthető kapacitás, biztonság, megbízhatóság és hatékonyság.

A Szerző a választott tudományterületre vonatkozó ismereteket jelentősen gyarapította, a kidolgozott módszerek általános érvényűek lehetnek és sokrétűen felhasználhatók, ugyanakkor nem jelenteti meg egyértelműen a jövőbeli kutatási területeket, továbbfejlesztési lehetőségeket, valamint hogy milyen egzakt területeken és hogyan lehetne az eredményeket átültetni más közlekedési vagy egyéb releváns rendszerekbe.

## **3. Az értekezés felépítése, szerkezete és általános értékelése**

A 139 oldal terjedelmű értekezés 9 fejezetre tagolódik. Az értekezés felépítése publikációs mérföldkövek szerinti sorrendben történik, az egyes fejezetek végén a téziseket megjelenítve.

A 12 oldal terjedelmű 2. fejezetben a jelölt bemutatja a csoportos drónrepülés alapmodelljét és azt a realisztikus szimulációs keretrendszert, amiben a modellt fejlesztette.

A 10 oldal terjedelmű 3. fejezet ismereti a csoportos repülés kísérleti eredményeit, a rajrepülés és csoportos célpontkövetés vonatkozásában.

A 8 oldalon bemutatott 4. fejezet az alapmodell egy speciális bio-inspirált alkalmazását tartalmazza, a csoportos üldözés-menekülés esetével.

A 16 oldal terjedelmű 5. fejezet a csoportos rajrepülés továbbfejlesztett, skálázhatóbb és evolúciósan optimalizált változatát mutatja be, a kidolgozott modell részleteinek bemutatásával, az optimalizálási feladatokkal, valamint a 30 drónnal elvégzett rajrepülés ismertetésével.

A 12 oldal terjedelmű 6. fejezet a drón forgalmi alapmodellt ismereti, a közös térben történő kooperatív, de egyéni útvonalkövetés vezérelvével, (i) az alapvető forgalmi szituációk, (ii) a javasolt vezérlő modellek, valamint (iii) az elért eredmények taglalásával.

A 14 oldal mennyiségben taglalt 7. fejezet a csoportos rajrepülés legfejlettebb modelljét részletezi, mellyel garantálható, hogy a raj egyszerre képes gyorsan reagálni külső hatásokra és közben stabil maradni.

Az értekezés utolsó érdemi fejezete a jelölt által kidolgozott legfejlettebb forgalmi modellt ismerteti, melyben optimálisan van ötvözve az egyéni prediktív útvonaltervezés és az önszerveződő ütközésselkerülés. A kidolgozott eljárások tesztelését nagyszámú, 100 drónnal végrehajtott repüléssel illusztrálja.

Az értekezés szerkezeti felépítése logikus, és jól illusztrálja a problémára készített modellek és eljárások folyamatos és fokozatos evolúcióját, azonban az egyes fejezetek mennyiségében aránytalanságok vannak. Ez megfigyelhető az alfejezetek mennyiségében is, célszerűbb lehetett volna kevesebb, de komplexebb fejezetekbe tagolni az értekezést. A tézisek megfogalmazása egyértelmű, bár a nyomon követést és a hivatkozást elősegíthette volna a tézisek és azok altéziseinek számozása. A nyelvezet többes szám első személyben adott, melyre külön felhívja a jelölt a figyelmet – a csapatmunkára való hivatkozással – mégis a tudományos értekezésekben jellemzően a csoportmunkában elvégzett egyéni munka újdonságtartalmát szokás ismertetni. Az elért eredmények összefüggnek az ökoszisztémában elért egyéb kutatások eredményeivel, ami egyben illusztrálja a kutatási feladatok közötti koordinációt, kommunikációt, és a fejlesztések hasznosíthatóságát.

#### **4. Nyelvi, alaki és formai értékelés**

Az értekezés szövegezése megfelelő, világos, egyértelmű, ami megfelel az akadémiai doktori értekezésekkel szemben támasztott követelményeknek. A fogalmazás módja szakszerű, mégis az értekezés helyenként szokatlan fejezetcímet, és tartalmi részeket tartalmaz (pl. 9.2. „Nagy baj van”, 9.3. „Sok kicsi sokra megy”).

Az irodalmi hivatkozások és források száma elegendő, az azokra való jelölések megfelelőek. A szöveg tartalmi felbontása logikusan követi a javasolt eljárások fejlődését, mégis kevesebb és kiegyensúlyozottabb felbontással növelhető lett volna a gondolatok rendezése. A kidolgozott eljárások, módszerek és azok bizonyításai, a következtetések levonásával könnyen nyomon követhető.

Az értekezésben megjelenő ábrák, táblázatok jól áttekinthetőek, összhangban vannak a szöveggel, szövegrésszel, amelyben a szerző utal rájuk. A matematikai képletekben, egyenletekben használt jelölések szintén megfelelnek az előírásoknak, a használt indexelési,

képlet- és egyenlet-számozási rendszer elősegíti az Értekezés gondolatainak követését. Szokatlan néhol a fejezetek előtt lévő üres oldal.

## 5. Az új tudományos eredmények, tézisek értékelése

Az értekezés tézisei az egyes fejezetek ismertetése után, az adott fejezet utolsó alpontjaként, jelennek meg. A tézisek a kutatási munka evolúciójának logikáját követve egymásra épülnek. A nyomonkövethetőség és azonosíthatóság érdekében érdemes lett volna a téziseket számozni, és az egyes tézisek alá tartozó részeredményeket altézisként megjeleníteni.

I tézis (2.-ik fejezet): A tézist és valamennyi algondolatát, altézisét elfogadom.

1. Kérdés: a bio-inspirált modellezéséi koncepciónál milyen összegző tapasztalatokat sikerült szerezni, milyen fajoktól, milyen mozgást érdemes / lehet adaptálni, és milyen peremfeltételek mellett?
2. Kérdés: A 2.1 ábrán összegzi a felhasznált modell paramétereit. Készült-e elemzés arra, hogy milyen paraméterek mellett (pl. gyorsulás, kommunikációs késleltetés) tartható vagy adaptálható-e a javasolt modell

II tézis (3.-ik fejezet): A tézist és valamennyi algondolatát, altézisét elfogadom.

3. Kérdés: Adott légtéregységen belül, készült-e elemzés arra, hány drónt / egyedszámot tud a kidolgozott eljárás kezelni?
4. Kérdés: A hagyományos kereskedelmi légitársaságokhoz köthető kapacitásnövelő kutatásokban szintén megjelenik a formációban történő repülés. A jelölt szerint átültethetőek / adaptálhatóak a kidolgozott eljárások a hagyományos légitársaságokra?

III tézis (4.-ik fejezet): A tézist és valamennyi algondolatát, altézisét elfogadom.

5. Kérdés: Az új precízebb modell 11 dimenziósra hízott paraméterteret használ. Készült-e a paraméterek vonatkozásában érzékenységi vizsgálat, ha nem, akkor mely paraméterekre a legérzékenyebb a modell?

IV tézis (5.-ik fejezet): A tézist és valamennyi algondolatát, altézisét elfogadom.

V tézis (6.-ik fejezet): A tézist és valamennyi algondolatát, altézisét elfogadom.

VI tézis (7.-ik fejezet): A tézist és valamennyi algondolatát, altézisét elfogadom.

VII tézis (8.-ik fejezet): A tézist és valamennyi algondolatát, altézisét elfogadom.

Az értekezés érdemi fejezeteiben foglaltak meggyőzően bizonyítják, hogy a jelölt a nemzeti és nemzetközi szakirodalomról átfogó és részletes ismeretekkel rendelkezik, a kutatási problémára

megfelelően alátámasztott módszereket, megoldásokat képes alkotni, melyeket világszinten demonstrál, ezzel is alátámasztva az elméleti tudás gyakorlati átültetésének képességét, melyek összességében alkalmassá teszik az értekezésben kitűzött célok elérésére.

#### **6. Tézisfüzet értékelése**

A tézisfüzet összeállítása megfelel a tartalmi és formai követelményeknek.

#### **7. Nyilatkozat az egyes tézisek elfogadásáról vagy elutasításáról**

Összefoglalva megismétlem, hogy a Szerző valamennyi tézisét elfogadom új tudományos eredménynek.

#### **8. Nyilatkozat arról, hogy az értekezés hiteles adatokat tartalmaz-e**

A tézisek tudományos tartalmának igényes és részletes ismertetése, a szakterület aktuális állását ismertető alapos és részletes szakirodalmi áttekintés valamint a tézisek megállapításainak erős publikáltsága alapján megállapítható, hogy az értekezés hiteles eredményekről számol be.

#### **9. Nyilatkozat a nyilvános vita megtartásáról, javaslat az „MTA doktora” cím odaítéléséről**

Fentiek alapján a szerzőnek a doktori értekezésében bemutatott tudományos eredményeit **elegendőnek tartom az MTA doktora cím megszerzéséhez és javaslom az értekezés nyilvános vitára bocsátását.** Értékelésem alapján javaslom a Jelölt számára az MTA doktora cím megadását.

Budapest, 2026. január 8.



**Dr Rohács Dániel**  
az MTA doktora  
tanszékvezető, egyetemi docens