

Opponensi vélemény

Vásárhelyi Gábor

„Intelligens drónrajok vezérlése és alkalmazása”

című MTA doktori értekezéséről

A dolgozat témája, időszerűsége

Vásárhelyi Gábor MTA doktori értekezése egy olyan témakörrel foglalkozik, amely napjainkban rendkívül dinamikusan fejlődik. A robotok elterjedése mostanára sok helyen kiváltotta az emberi tevékenységet, megkönnyítve ezzel számos ipari folyamatot. A csoportos robotikai alkalmazások, melyekben több önálló robot valamilyen szinten együttműködik, új szintre emelik a fejlődést. Az ilyen irányú kutatásokban és fejlesztésekben világszerte sok kutató és mérnök vesz részt, melyek között kiemelkedő nemzetközi hírnévre tettek szert az ELTE Biológiai Fizika Tanszék, és azon belül a robotikai labor kutatói, amelynek Vásárhelyi Gábor a vezetője.

A dolgozat szerkezete, formai jellemzői

A magyar nyelven íródott dolgozat arányos szerkezetű, kifejezetten olvasmányos munka.

A bevezetés széleskörűen, több oldalról megközelítve mutatja be a témakört, a természetből vett példákkal is illusztrálva az autonóm egyedek csoportos mozgására vonatkozó legfontosabb alapfogalmakat, majd végigvezet a drónokra vonatkozó technikai fejlődés legfontosabb állomásain, és ismerteti azokat a technológiai vívmányokat, amelyek szükségesek ahhoz, hogy hatékony csoportos mozgás alakulhasson ki egymással kommunikáló robotokból álló robotrendszerekben.

A disszertáció lényegi része hét fejezetben mutatja be az eredményeket, megfelelő terjedelemben, melyek jól érthető módon foglalják össze a kapcsolódó publikációkban részleteiben is ismertetett kutatási eredményeket. Az ábrák és a hivatkozott videók informatívak, jól illusztrálják az eredményeket. Nem lényeges pont, de megjegyzendő, hogy a publikációkból átvett ábrák többségében angol nyelvű feliratozásúak, és néhol a feliratok túl kicsik (pl. a 6.5 és 8.1 ábrák). Ez a nyomtatott verzió olvasásánál gondot jelenthet. A fejezetek végén megfogalmazott tézispontok tömören, de dicséretes módon továbbra is olvasmányosan foglalják össze az eredményeket. Ennek fényében logikusan adódik, hogy az utolsó fejezetben, összefoglaló gondolatok alatt - kissé rendhagyó módon - nem a dolgozat főbb eredményeit olvashatjuk újra, hanem inkább kitekintő gondolatokat.

Az eredményeket bemutató fejezetekről:

Az eredményeket bemutató hét fejezet egymásra épülve vezet végig 10 évnyi kutatási eredményen.

- Először (a 2. fejezetben) egy ágens alapú, bio-inspirált modellrendszer került kidolgozásra, amelynek keretében két algoritmust teszteltek numerikusan, modellezve a szinkronizált csoportos mozgást és a csoportos célpontkövetést.

- A 3. fejezet sikeres kísérletekről számol be, melyekben egy saját fejlesztésű, 10 egyedből álló decentralizált kvadrokopter flotta stabil önszerveződő repülést végzett kültéri körülmények között, melyben a robotok csoportos viselkedését a 2. fejezetben bemutatott decentralizált, bio-inspirált algoritmus vezérelte.

- A 4. fejezetben az előzőekben ismertetett alapmodell felhasználásával megvalósított csoportos üldöző-menekülő modell numerikus vizsgálatával mutatta meg, hogy a lassú üldözők együttműködése drasztikusan növeli a gyorsabb, hirtelen irányváltásokkal mozgó prédák elkapási valószínűségét.

- Ezután az 5. fejezetben egy továbbfejlesztett modellt tesztel, ami az előzőekhez képest egy komplexebb párkölcsönhatást tartalmaz, aminek segítségével sikerült lecsökkenteni a nemkívánatos oszcillációk megjelenésének valószínűségét, amit a korábbiakban megismerttől jóval több - numerikusan 100, kísérletileg 30 - egyed esetében demonstrált.

- A 6. fejezetben a korábbi modellek módszertanát és eredményeit felhasználva, egyéni célponttal rendelkező drónok sokaságára decentralizált repülésirányításra alkalmas vezérlési algoritmusokat dolgozott ki és tesztelt egyrészt numerikusan, másrészt 30 valódi drónnal végzett terepi kísérletekben is.

- A 7. fejezetben megmutatja, hogy a csoportosan mozgó, sok egyedes önhajtott rendszerek inherensen rendelkeznek a statisztikus fizikából ismert fluktuáció-disszipáció tétellel analóg belső korláttal, mely szerint a rendszer reakciókészsége (vö. fluktuáció) és stabilitása (vö. disszipáció) egymással direkt kompromisszumkényszerben állnak, ami megkerülhető, ha az egyedek aktív információátadással segítik egymást, illetve képesek a környezetükből származó indirekt információ intelligens feldolgozására és értelmezésére.

- Végül a 8. fejezetben egy új drónforgalmi modell viselkedését vizsgálja, ami a 6. fejezetben bemutatott modellen alapul, és benne új elem, hogy nemcsak a szomszédok helyzetét, hanem azok sebességét is figyelembe veszi az akadályok feltérképezésénél. Az új modell a korábbiakat mind forgalmi fluxusban, mind biztonsági szintben messze meghaladta, emellett nagyobb sebességek és egyedszámok esetén is hatékonyan bizonyult, a működését numerikusan 5000, kísérletben pedig 100 drónos flottán demonstrálták.

A tézispontokról:

A Jelölt az eredményeit 7 tézispontban foglalta össze, az ezek alapjául szolgáló publikációk nívós nemzetközi folyóiratokban jelentek meg és jelentős nemzetközi elismertséget vívtak ki. Kiemelendő továbbá, hogy a kutatási eredmények gyakorlati hasznosítása is igen kiterjedt, amit a jelölt a téziszűzetben is részletesen ismertet. A tézispontok állításait a Jelölt új tudományos eredményeiként elfogadom.

Kérdések:

1. Kérem részletezze, hogy milyen kihívásokat jelentene a numerikus modellben, ill. valós kísérletben két drónraj egy térben való mozgásának létrehozása, aminek során sor kerülhet arra, hogy a rajok egymás útvonalát keresztezni fogják, és értelemszerűen el akarjuk kerülni, hogy az egyes egyedek ütközzenek, de azt célozzuk, hogy a két raj egymástól függetlenül mozogjon!
2. Milyen algorimust lenne célszerű alkalmazni egy kb. 10 autonóm egyedből álló drónraj mozgására, hogy egymással kooperálva a lehető leghamarabb megtaláljanak egy jól körülhatárolt területen lévő ismeretlen helyű célpontot? Pl. egy elkóborolt állat megkeresése egy nagy mezőn.
3. A fizikában számos helyen előfordul, hogy sokrészecske-rendszereket kell modellezni és ezeknél a részecskék közötti kölcsönhatás modellezésében a gépi tanulási algoritmusok hasznosak tudnak lenni. Ezzel kapcsolatos kérdés, hogy lehet-e ilyen algoritmusokat a drónok közötti kölcsönhatások optimalizálására használni és ezzel drónforgalmi szituációk, ill. különböző jellegű és geometriájú rajrepülések hatékonyságát növelni?

Összefoglalva:

Vásárhelyi Gábor doktori dolgozata magas színvonalú kutatómunka eredménye, melyben végigkövethetjük azt a fejlődési ívet, ahogyan lépésről-lépésre egyre hatékonyabb módon sikerült megvalósítani az önszerveződésre képes robotok csoportos mozgását mind modellek segítségével, numerikus szimulációkban, mind pedig a valóságban, saját fejlesztésű drónokkal. A dolgozat logikusan felépített, tartalmas munka, meggyőzően tükrözi a Jelölt nagyfokú hozzáértését és innovatív habitusát. Az eredmények teljesítik az MTA doktora cím elnyerésével szemben támasztott követelményeket. A téziseket a Jelölt önálló, új tudományos eredményeiként elfogadom. A doktori művet nyilvános vitára alkalmasnak találom, és sikeres védés esetén javaslom az "MTA doktora" cím odaítélését.

Budapest, 2026. március 17.



Dr. Börzsönyi Tamás
az MTA doktora
HUN-REN WIGNER Fizikai Kutatóközpont
Szilárdtest-fizikai és Optikai Intézet