

## Zárójelentés

### **Az autonóm mobil eszközök felhasználási területei, irányítási módszerek**

Az autonóm mobil robotok elterjedése növekedést mutat napjainkban az egész hétköznapi felhasználástól kezdve az ember által nehezen végezhető munkákig, a veszélyes illetve távoli területeken, pl. a bolygó kutatásban, harcászati és mentesítő feladatokban.

A Kutatók számára nagy kihívást jelent ezen eszközök önállóságának, feladat- és problémamegoldó képességének növelése. Ezek a képességek az intelligens viselkedés ismérveihez tartoznak, tehát az elsődleges cél az autonóm eszközök mesterséges, számítási intelligenciájának növelése. A projekt célja is olyan intelligens irányítási és irányításhoz kapcsolódó algoritmusok kidolgozása volt, melyek nagyban növelik a robot autonóm használatának lehetőségeit és feladatmegoldó képességét.

Tanszékeink irányultságát és meglévő eszközeit figyelembe véve kutatásunkban az autonóm mobil anyagmozgató robotokra koncentráltunk, mely szűkítés csak az eredmények fizikai megvalósítására és bizonyítására vonatkoznak.

### **A kutatáshoz fejlesztett eszközök és a kutatás lépései**

A kutatási projekt első éve a szükséges eszközök fejlesztésével és rendszermodellezéssel telt. Az ipari anyagmozgató robotok mind méretüket, mind költségüket tekintve nem alkalmasak laboratóriumi kísérletezésekre, ezért kialakítottunk egy három lépcsős rendszert a feladatok végrehajtásához:

1. számítógépes modellezés, szimulálás és emulálás,
2. kisméretű, de az eredeti funkciókat hűen végrehajtó, mobil robotok készítése,
3. AZ eredmények ellenőrzése valós rendszereken.

Első lépésben számítógépes modelleket készítettünk Matlab illetve Simulink környezetben. A modellek mind a fizikai, mind az irányítási algoritmusok és kommunikációs alrendszerek területére kiterjedtek. A számítógépes szimulációs részrendszerek HIL alapelveket követve egy DSP alapú dSPACE kísérleti kártyán keresztül a meglévő fizikai modellekhez csatlakoztattuk, így kihasználhattuk a szimuláció adta rugalmasságot a prototípus kísérletek pontosságával.

Második lépésként megépítettük a kísérleti modelleket. Négy darab mobil robot készült, melyek alkalmasak autonóm viselkedések vizsgálatára és komplex kooperációs feladatok kidolgozására is. Ezek 18 x 18 x 18 cm-es befoglaló méretű mikro-robotok. Hajtásuk differenciál szervó hajtás, mely dinamikus mozgást és fordulékonyt eredményez. A fedélzeti vezérlés mikrokontroller (PIC, MSP430) illetve DSP alapú. A robotok fejlesztése három alcsoportban történt:

1. hajtási rendszerek,
2. szenzorok és aktuátorok kialakítása,
3. kommunikációs alrendszer.

A mobil robotoknál a távmérést, akadály illetve tárgy felismerést és a lokalizációs, pozicionáló problémákat kellett megoldanunk. Ezekre a feladatokra különböző elven működő szenzor-rendszereket hoztunk létre (ultrahangos, infravörös, videó, stb.), melyekkel összehasonlító kísérleteket is végeztünk.

A kommunikációs részrendszer az a terület, ahol jelentős lépéseket tettünk a projekt keretében, miszerint egy önoptimalizáló dinamikus topológiát hoztunk létre. Lényege a hatékony kooperációhoz folyamatosan alkalmazkodó kommunikációs paraméterek beállítása, transzparens és API csatornák használatával. Az új ZigBee protokollal működő rádió-modemeket használtunk, négyet a robotoknál plusz egyet a központi felügyeleti számítógépnél. Alaphelyzetben egy teljesen transzparens peer-to-peer topológián keresztül folyik a soros vezeték nélküli kommunikáció, majd a kooperációs csoportok kialakulásával párhuzamosan alakul a kommunikációs topológia is hierarchikus API rendszerré, ahol már címzett üzenetek mennek, nyugtázással és nyomkövetéssel. A csoportok felbomlása után a kommunikáció is visszatér a transzparens módba.

## **A kutatási részterületek és azok eredményei**

A modell kísérletekkel párhuzamosan elkezdjük az irányítási algoritmusok kidolgozását. Célunk olyan számítási intelligencia alapú alrendszerek megalkotása volt, melyek képesek kezelni a pontatlan mérések hibáit illetve bizonytalanságát. Alapvetően felügyeleti részrendszer megalkotása volt a cél, tehát a régi bevált mérési és irányítási módszereket nem vetettük el, hanem minőségüket javítottuk az új algoritmusokkal, illetve csak bizonyos fontos pontokon cseréltük új módszerekre a régiéket.

A komplex rendszerleírásokhoz fuzzy-szignatúrákat dolgoztunk ki. A fuzzy-szignatúrák olyan hierarchikus leírók melyek alkalmasak komplex, nagy skálájú strukturált rendszerek, adatok leírására. Tulajdonképpen egymásba ágyazott fuzzy vektorokról van szó, ahol az egyes szintek az alattuk lévő szint valamilyen tetszőleges aggregációjával adható meg.

A környezet és a robot állapotának leírását végeztük ilyen fuzzy-szignatúrákkal, melyek alapján az intelligens következtető rendszer meg tudja határozni a következő szükséges akciót, sőt előre tud kalkulálni annak következményeivel is.

A kooperációs feladatok megoldásához egy fuzzy kommunikációra épülő komplex irányítás kidolgozását végeztük el. A robot csoportot egy mikroközösségnek tekintjük, ahol egymás között a kialakított azonos kontextus függő kódkönyvek segítségével kommunikálnak, illetve osztják meg az egyes egyedek tudását és pillanatnyi szenzoros állapotát. A módszerrel tömör, a kommunikációs vonalak alacsony terhelését jelentő, mégis hatékony kommunikációt és így hatékony együttműködést lehetővé tevő rendszert alkothatunk.

A fentieket figyelembe véve a kutatásunkat három fő irányba folytattuk:

1. Mobil robot pályakövetési algoritmusai.
2. Lokalizációs problémák.
3. Speciális kommunikációs és kooperációs megoldások.

Mindegyik kutatási irányban a számítási intelligencia algoritmusok kidolgozására és alkalmazására koncentráltunk, amely sok esetben valóban új ötleteket és megoldásokat jelentenek.

## **Mobil robot pályakövetési, útvonal választási algoritmusai**

Nem konkrét pályakövetési algoritmusokról van szó, hanem akár egy képzeletbeli csak számításban létező pálya követésére is alkalmas eljárásokról, tehát „pályafüggetlen” irányítás a cél. Természetesen ezek az algoritmusok működnek fizikailag meglévő pályák követése esetén is mivel ez egy belefoglalt, egyszerűbb esetet jelent.

A kidolgozott algoritmus lényege, hogy a robotot mint egészet tekinti, nem külön-külön hajtásláncok vezérlésével foglalkozik. Gyakorlatilag az alsószintű hajtásvezérlés felügyeletét látja el.

Mivel egyik célunk a pályafüggetlenség volt, így a hagyományos odometria alapjaihoz tértünk vissza. Első lépésként az odometriai hibák enyhítésére illetve kompenzálására dolgoztunk ki megoldásokat. Ezek a megoldások fuzzy logikát mint számítási intelligenciát és bizonytalanság kezelési eljárást alkalmaznak. A rendszer képes enyhíteni az odometriai integrált hibát, illetve annak hatását figyelembe veszi, így az odometria pontosságát a mai elvárásokhoz közelítettük.

Az odometriai méréseket kiegészítve, a második pontban tárgyalt, pillanatnyi lokalizációs módszerekkel nagy pontosságú, pályafüggetlen robotirányítást érhetünk el.

Második lépésként kidolgoztunk egy intelligens felügyeleti szintet, mely a robot viselkedését elemzi, pályatartási és mozgási szempontból és megtervezi az optimális útvonalat. Fuzzy-szignatúrákat alkalmazunk intelligens leíróként, melyekkel képesek vagyunk a pontatlanságok és bizonytalanságok kezelése mellett egy elfogadható számításigényű hierarchikus irányítási rendszer felépítésére. Az irányítás a robot pillanatnyi pozícióját, mozgását és viselkedését veszi figyelembe, dönt a szükséges beavatkozásokról. Ezt a felügyeleti rendszert később kiegészítettük egy viselkedési szinttel, melyben megadhatjuk az egyes esetekben a pályahiba kezelésének módját, a robot reakcióját, pl.: agresszív követés vagy lágy irányváltoztatás, stb.

### **A lokalizációs problémák megoldása vizuális háromszögeléssel**

A lokalizációs problémák megoldására a hagyományos háromszögelési módszereket alkalmaztuk, újdonság a kamerakép felhasználása a lokalizációhoz. Mivel a képfeldolgozást a fedélzeti eszközökkel végeztük, olyan algoritmusokat kellett kidolgoznunk melyek számítási komplexitása alacsony. Az alapötlet az, hogy nem a képet magát továbbítjuk a központi vezérlőbe, hanem csak egy kép statisztikát, melyek alapján a háromszögelési pontok azonosíthatók valós időben. A lokalizáció nem folyamatos, hanem odometriát alkalmazva fix ponttól fix pontig halad a robot, tehát csak a fix pontoknál végez lokalizációs mérést kvázi az odometriás összeadódó hibákat korrigálja. A kamera így felhasználható egyéb feladatokra is, pl. akadály felismerés, távmérés. A távmérési feladatok, hasonlóan a lokalizációhoz, képstatisztikák alapján ismert objektumok segítségével történnek.

### **Kontextus függő fuzzy kommunikáció**

Az autonóm mobil robotok esetében az egyéni intelligens munkavégzés mellett elvárás a kooperációs képesség megléte is. Előzetes ismereteink és a kutatás során felmerült problémák rávilágítottak, hogy a jó kooperáció egyik legfontosabb alappillére a hatékony kommunikáció megléte az egyes résztvevők között. A probléma a kommunikáció hatékonyságával van, mivel egy bonyolultabb kooperáció, pláne ha a résztvevők száma magas, nagy igényeket támaszt a kommunikációs rendszerrel szemben, melyek vagy műszaki, vagy gazdasági okokból nem megoldhatók. Egyik megoldási irány, az általunk is javasolt és kidolgozott kommunikáció szűkítési eljárás. Szélsőséges esetben a fizikai kommunikációs vonal teljes hiánya is elképzelhető. Mi ezt az esetet vizsgáltuk és erre dolgoztunk ki megoldási lehetőségeket. A megoldás röviden a viselkedés becslés módszerén alapul, ahol a robotok a környezetük állapotát és a többi robot viselkedését figyelik és ezekből vonnak le következtetéseket. Ezt az eljárást kontextus függő fuzzy kommunikációnak is nevezzük, mivel az egyes robotok, rendelkeznek bizonyos előzetes ismeretekkel és egy-egy azonos kontextus függő kódkönyvvel. Ezeket az eszközeiket felhasználva a pillanatnyi külső és belső állapotok

leírására különböző fuzzy-szignatúrákat alkalmaznak, majd fuzzy döntéshozó mechanizmuson keresztül döntenek a szükséges akcióról.

Kidolgoztuk a működéshez szükséges keretrendszert, fuzzy-szignatúra osztályokat hoztunk létre, melyek többször és általánosan felhasználhatók. Mivel alapvetően a megoldás kontextus függő, ezért az egyes célfeladatokra újabb kódkönyvek, fuzzy leírók létrehozása szükséges.

A módszer kipróbálására megalkottunk egy modell rendszert ahol a robotok olyan feladatot végeznek, alapvetően rendezést, ahol csak egy robot („a művezető”) tudja a konkrét feladatot a többiek csak feladat sémákat leíró kódkönyvvel rendelkeznek és semmilyen kommunikáció nincs köztük, egymást figyelve „kommunikálnak” és döntenek a következő lépésükről. A feladat elvégzéséhez együtt kell működniük, mert csak kettő vagy több robot tud elvégezni egy-egy részfeladatot. A modell kísérletek bizonyították a módszerünk életképességét.

## **A megvalósított robot navigációs rendszer**

A megvalósított rendszer két fő irányítási szinttel rendelkezik.

A felső szint egy fixen telepített videokamerás felügyelő rendszer, amely nagyfelbontású kamerákat használ érzékelőként és a mobil robotok működését irányítja. A lokális hálózaton egy felettes számítógépes rendszertől érkező utasításokat értelmezi, feldolgozza, majd továbbítja a robotok felé. A módszer alkalmazását indokolja, hogy a targoncára kevesebb és kisebb teljesítményű eszközrendszert kell telepíteni. A mobil robot navigációs rendszere egyszerű lehet, amely olcsó szenzorokkal is megvalósítható, így a teljes rendszer ára csökkenhet.

Az alsó szintet, amely szintén hierarchikus felépítésű, a robot fedélzeti irányító rendszer alkotja.

A megoldás valójában az intelligens tér elvén működő rendszer egy logisztikai rendszerre történő alkalmazása. Mivel a logisztikai rendszerünk állandó alaprajzzal rendelkező belső tér, a felügyeleti rendszer egy állandó, vagy ritkán változó térben irányítja a targonca mozgását. A targonca azonban, az intelligens terekben mozgó mobil robotoktól eltérően bizonyos helyi intelligenciával is rendelkezik.

## **Viselkedés-alapú robot fedélzeti irányítórendszer**

A fedélzeti irányítás a parancsokat a kamerás felügyeleti rendszertől kapja és az alábbi feladatokat tudja végrehajtani:

hagyományos módon kötött pályán, optikai illetve elektromos jelet követve mozog egyik pozícióból a másikba,

háromszögelési módszerrel meghatározza a pozícióját,

a kiindulási pontból adott koordinátájú pontba navigál,

egy faltól meghatározott távolságot tartva tesz meg megadott távolságot,

kikerüli az akadályokat.

A fedélzeti rendszer alsó szintjén a kerekek szervo hajtásai, a robot távolságérzékelői, a fedélzeti videokamera, valamint az érzékelők jeleit közvetlenül fogadó, a szervo hajtásokat vezérlő mikroprocesszor található.

A fedélzeti rendszer felső szintjén található mikroszámítógép a videokamerás felügyelő rendszertől kapott parancsokat értelmezi és az alsó szint mikrovezérlői számára lefordítja utasításokká.

## **Percepció vektor alapú fuzzy irányítás**

Az ultrahangos érzékelők által szolgáltatott percepciós vektor pontatlansága és a nem teljesen ismert rendszermodell miatt fuzzy alapú fedélzeti navigációs rendszert alkalmazunk, amely az alábbi feladatokat tudja végrehajtani:

hagyományos módon kötött pályán, optikai illetve elektromos jelet követve mozog ,  
háromszögelési módszerrel meghatározza a pozícióját,  
a kiindulási pontból adott koordinátájú pontba navigál,  
adott objektumtól meghatározott távolságot tartva tesz meg megadott távolságot,  
kikerüli az akadályokat.

Ha például a navigációs rendszer a fal mellett kell, hogy adott távolságban haladjon, a fuzzy szabályok a következők lesznek:

*„Ha távolság kicsi és a percepció vektor balra és hátrafelé mutat, fordulás kissé balra”*

*„Ha a távolság nagyon nagy, és a percepció vektor előre, jobbra mutat, fordulás balra”*

Ehhez hasonló különféle parancsok kombinálásával képeztük a percepció alapú viselkedés bázisú irányítási sémát, ahol minden viselkedésmódot egy-egy fuzzy szabály készlet definiál.

### **A videokamerás felügyeleti rendszer**

A robotok azonosítását, helyzetének és orientációjának meghatározását a videokamerás felügyeleti rendszer végzi. A kamera nagyfelbontású, így kellő részletességű képet tud szolgáltatni a robotról és környezetéről. A robotok megkülönböztetésére és orientációjának meghatározására jól látható helyen helyezett eltérő szín összeállítású mintákat használunk. Az objektumok középpontjának meghatározásra szolgáló algoritmus minden egyes új kép kamerától való lekérése után ismételten lefut, ezáltal a robotok helyzete dinamikusan változik a képernyőn, követve a mozgásukat. A megadott színű objektumok meghatározása úgy történik, hogy az algoritmus végigpásztazza a kamerától elkért kép minden képpontját, és csak azon képpontok koordinátáit fogja figyelembe venni a továbbiak során, amelyeknek az RGB szinkódja beleesik a felhasználó által megadott tartományba. A kép végigpásztázását követően a releváns képpontok  $x$  illetve  $y$  koordinátáiból a rendszer meghatározza a robotok középpontjának koordinátáit.

A kamerák által megfigyelt teret virtuálisan modellezzük. Erre egyszerű két dimenziós rácshálós felosztást használunk, mivel nincs függőleges elmozdulás. A rácsháló minden egyes négyzete annak a terepnek egy adott területét reprezentálja, amelyben a robot mozog. Az egyes pozíciókat, amelyeket a kamera képekből kinyerünk, áttanszformáljuk e virtuális térbe, így minden egyes mozgó robot, és minden olyan objektum, amelyet megjelöltünk, a kamera képén leképezésre kerül e virtuális térbe is. Ezáltal a kamerán megtalált pozíciók automatikus transzformáción esnek át, melyekből mind a virtuális térben elfoglalt pozíciót, mind pedig a robot irányát megkapjuk.

Az útvonal keresése a virtuális térben zajlik a hullámfront terjesztésen alapuló módszerrel. A lokális minimumba való futás veszélyét szűrő algoritmusokkal és különböző keresési eljárásokkal lehet kiküszöbölni.

A kapott útvonal főbb pontjaiból képzett vektort, valamint a virtuális térben elfoglalt pozícióját, és irányát elküldjük a robotnak. A robot saját fedélzeti irányítórendszere meghatározza, mit kell tennie a cél elérése érdekében, majd végrehajtja azt. Az esetleges hibás döntés felismeréséhez szükséges visszacsatolást a kamera képe, és a robot fedélzeti érzékelőinek adatai adják, melyet a külső vezérlő program ismételten feldolgoz, újra kiszámítja az utat, majd ismét elküldi az eredményeket a robotnak.

### **Összefoglalás**

A kutatási ciklus első felében létrehoztuk a szükséges kísérleti rendszereket, robot platformokat, melyeken labor körülmények között vizsgálhattuk az algoritmusainkat. Autonóm mobil robotok intelligens irányításával foglalkoztunk, ahol a pályakövetési és lokalizációs területeken hoztunk létre új eljárásokat, melyek előrelépést jelentenek az irányítási módszerek területén.

Külön téma volt a kooperációs és azon belül is a kommunikációs problémák vizsgálata, ahol a magas számítási intelligencia módszereit alkalmazva dolgoztunk ki szélsőséges körülmények között is jól működő algoritmusokat.

Kutatási eredményeinket nemzetközi szakmai konferenciákon és folyóiratokban publikáltuk.

Eredményeink felhasználásával további kutatásokat tervezünk és folytatunk a téma területén belül.