

Vámosy Zoltán

vamosy.zoltan@nik.bmf.hu

MOBIL ROBOTOK GÉPI LÁTÁS ALAPÚ NAVIGÁCIÓJA

Absztrakt

A szerző által a robotépítő tevékenység területén elért eredményeit és megoldásait prezentálja az értekezés. A kutatási célkitűzések és módszerek bemutatása után, az eredményeket három csoportra osztva mutatja be: beltéri környezetben végzett navigáció és akadályelkerülés; kültéri környezetben lokalizáció pontosítása és térképkészítés; szakmaspecifikus alkotásként elkészített olyan rendszerek, mint lépegető robotok járási stratégiájának megvalósítása és körbelátó szenzorok képének minőségi javítása.

The paper presents the summary of the research goals on robots and the applied methods the achieved results and solutions on the area divided on three parts: navigation and obstacle avoidance in indoor environment; localization and map building in outdoor environment; such specific system as a software that makes it possible to easily develop stepping strategies, or a method to significantly improve the quality of the image of the PAL optics and the omnidirectional sensors.

Kulcsszavak: mobil robot, navigáció, PAL optika ~ mobile robot, navigation, PAL optics

BEVEZETÉS ÉS A KUTATÁSOK ELŐZMÉNYEI

Különböző szenzorokat, illetve ezekből felépített szenzorrendszereket gyakran alkalmaznak a robotikában annak érdekében, hogy a robot a folyamatosan változó környezetét (az akadályokat, valamint a környezetét jellemző objektumokat) valamilyen szinten megismerhesse és szükség szerint reagáljon ezek jelenlétére. A gépilátás-alapú rendszereknek kitüntetett szerepe van ezen eszközöknél, mert segítségükkel nagy mennyiségű információ nyerhető. A kilencvenes évek közepe óta fejleszték képfeldolgozás és más szenzorok használatán alapuló robotrendszereket. Az első eredményeimet a képi információ alapján tanulásra képes, robotosított osztályozó rendszer, valamint neurális hálózatot használó vizuális alapú pályatervezés témakörben értem el [4], [22], [23], [24].

A későbbiekben számos mobil robot készült a vezetéssel, melyek majd mindegyike – más szenzorok mellett – hagyományos és körbelátó kamerákat is használt. A dolgozat az e területen elért eredményekre koncentrál, tehát hosszabb fejlődési folyamat eredményeit foglalja össze. Ezen időszak alatt új technológiák és eszközök jelentek meg a területen, váltak általánosan elterjedtté, biztosítanak teljesen más szintű megközelítési lehetőségeket, mint korábban. E folyamatot példával is szemléltetni lehet. Egyrészt a kilencvenes években az élő kamera képek bevitelét még drága digitalizáló kártyák segítségével lehetett csak megoldani, most pedig filléres eszköz és USB csatolón keresztül egyszerűen kapcsolható kitűnő minőségű webkamera. Másrészt a GPS-es eszközök és a hozzá kapcsolódó szoftverrendszerek széleskörű elterjedése is teljesen más szintű lehetőségeket biztosít, mint az ezredfordulón, amikor még mesterségesen torzították a rendszer pontosságát, és az OEM GPS vevők csak a legszükségesebb adatokat biztosították, ráépülő programok nélkül. A folyamatos változás, számos új feladatot és lehetőséget kínált.

A látás a legnagyobb teljesítményű érzékelés. A környezet érzékelése lehetővé tesz számos olyan mozgást, amelyet adott világunk szabályoz. Az ember általában anélkül végzi mozgását igen nagy hatékonysággal, hogy pontosan értené, miként működik ez a folyamat. Nagy számú kutató, pszichológustól mérnökhöz dolgozik a vizuális érzékelés komplex problémáján. Közös célunk olyan mesterséges látórendszer építése, amellyel vizsgálható, hogy egy robot miként használhatja hozzá illő nagy teljesítménnyel, „robustus” módon a háromdimenziós térben történő tevékenységekhez azt a képi információt, amely valójában csak kétdimenziós. A kifejlesztett érzékelési rendszer lehetővé teszi, hogy a robot olyan mindennapi feladatot oldjon meg, mint „menj a folyosón a végéig, majd fordulj jobbra”.

Minden érzékelő rendszerben, legyen az akár emberi vagy mesterséges, a kritikus komponens az érzékelés módja, amelyet a környezeti információ begyűjtésére használunk. A biológia területén lényeges megfigyelés, hogy mennyire többféle a szemlencsék geometriája. A rovarok többsége és az emberszabásúak széles látótérből szereznek adatokat és a szemük képes térfüggő felbontásra, fókuszálásra. Ezek érzékelési kapacitása a szemük speciálisan adaptálódó geometriai változásával magyarázható. Ehhez hasonlóan, ebben a munkában az olyan nagy látómezejű megoldás előnyeit vizsgálom, amelyet körbelátást biztosító kamera eredményez, vagyis a vízszintes látómező 360 fokok [25, 26].

Mindannyiszor, ha képet kapunk egy körbelátó kamerától, felvetődik a kérdés, mit tegyünk vele, miként dolgozzuk fel? Szükséges-e, hogy a környezet belső modelljét, reprezentációját formáljuk meg a segítségükkel? Biztosíthatnak-e időről időre úgy információt a világról, hogy nem készül belső részletes reprezentáció [27]? Ez az alapkérdés régóta foglalkoztatja a számítógépes látással foglalkozó szakembereket, és az egyik központi kérdése a vizuális érzékelés megértésének.

A huszadik század közepén Gibson [28] újszerű megközelítést vezetett be a látás területén. Az optikai tömbre helyezte a hangsúlyt, miszerint annak invariáns tulajdonságai határoznak meg minden információt (struktúrákat és eseményeket) a környezetről. Elmélete szerint az információ csak úgy „felkapható” a megfigyelő számára, amint az a környezetben mozog. Ezért Gibson azt állította, hogy az érzékelés direkt: az érzékelés és a beavatkozás szorosan összefügg, belső reprezentáció szükségessége nélkül. Adott a környezet komplexitása, ahol nem lehet mindent egyszerre feldolgozni, így ez az elmélet azt hangsúlyozza, hogy az érzékelés szelektív figyelmi mechanizmuson alapszik.

1982-ben Marr [29] munkája a látás számítógépes megközelítését indította el, amely a modern gépi látás alapját jelentette. Ebben a munkában a vizuális érzékelés szekvenciális, moduláris felépítését vezette be, ahol a belső reprezentáció, modell volt a kiindulási pont. Ez az indirekt megközelítés tehát gyökeresen eltér Gibsonétól. Számítógépes módszere szerint egy előzetes vázlattal kezd, amely információt tartalmaz a kép régióiról és a határokról. Ebből a reprezentációból folytatólagosan egy 2 1/2D-s vázlatot épít, amelyet meghatároz a megfigyelő

nézőpontja és a tárgyak helyzete (távolsága) és orientációja. Végül a környezet érzékelésének nézőpont-független 3D modelljét készíti el.

A vizuális érzékelésben megközelítem az indirekt technikát követve konstruálja meg a környezet modelljét. Ebben az értelemben Marr módszerét követem, de attól eltérően nem építünk minden állapothoz sorozatos és részletes belső modellt. Ehelyett arra koncentrálok, hogy olyan reprezentációt készítsék, amely alkalmas a feladat megoldására. Például ha egy város főutcáján haladunk, elegendő, hogy helyzetünket egy épülettömbnyi pontossággal ismerjük. Ha viszont be akarunk lépni egy épület ajtaján, lényegesen nagyobb pontosságra van szükségünk.

A környezet belső reprezentációját minden egyes navigációs feladathoz testre kell szabni és ennek megfelelően kell a szükséges információ mennyiségét is begyűjteni. Az állatok számos esetben felváltva használják a „mérőföldköveken”, jelző elemeken alapuló navigációt és a megközelítő úthoz tartozó integrációs módszereket [30].

Amikor a robotnak nagyobb távolságot kell megtennie, akkor a világ érzékelésére megjelenés alapú környezeti reprezentációt alkalmazunk. Az olyan precizitást igénylő feladatoknál, mint a dokkoló helyzet megközelítése, vagy az ajtónyílásokon történő áthaladás, az érzékelés a megjelenés alapú módszerről olyan technikára vált át, ahol a képjellemzők kerülnek hangsúlyozottabban a figyelem középpontjába. A működés e két módját két különböző modellel jellemezhetjük és topológiai navigációnak, illetve vizuális útkövetésnek nevezzük.

A hosszabb távú (alacsonyabb precizitású) és a rövidebb távú (magas precizitású) érzékelő modulok fontos szerepet játszanak a robotnavigációs problémának hatékony és robusztus megoldásában. Ez a megközelítés azért lényeges, mert gyakran nem az fontos, hogy milyen hatékonysággal lehet használni e modelleket, hanem a világmodell elkészítésére kerül a hangsúly.

CÉLKITŰZÉSEK

A cikkben azokat a részfeladat megoldásokat vizsgálom az általunk készített mobil robotok segítségével, amelyeket a navigáció során különböző (mikro, illetve makro) munkakörnyezeti feltételekből kiindulva kell megoldani. A dolgozat célja a mobil robotok navigálási feladataihoz kapcsolódó részproblémák (akadály-elkerülés, környezet feltérképezés, pályatervezés, valamint navigáció) ismertetése és a vizsgált lehetséges megoldások bemutatása.

Előbb a mobil robotok különböző szenzorok, illetve PAL-optika használatával történő beltéri navigációját, az akadály-elkerülés lehetséges megoldásait vizsgálom. Megoldásokat keresek az akadály-elkerüléshez, pályatervezéshez, foglaltsági hálós reprezentációhoz, illetve vektoros térképkészítéshez. Megvizsgálom a pályatervezési algoritmusokat abból a szempontból, hogy melyik alkalmazható egyszerű szenzorcsoport jeleinek felhasználásával, relatíve kis számítási igényt – mikrokontroller lehetőségeit – feltételezve. Összehasonlítom ezeket a foglaltsági hálós térképreprezentáció esetében. A megoldást négy lábú lépegető robot tárgyreflexiós szenzorcsoport jeleinek feldolgozásával történő navigációhoz kívánom felhasználni. Kidolgozok olyan képfeldolgozó eljárásorozatot PAL-optika használatával, amely képes négy lábú lépegető mobil robot lábkörnyezetének valósidejű vizsgálatára és ennek felhasználásával akadály-elkerülésre. Megoldást keresek robotnavigáció során alkalmazható olyan akadálydetektálásra és térképkészítésre, ahol az adatok nagy tömörséggel reprezentálhatók. Vizsgálom a strukturális megvilágítást alkalmazó képfeldolgozás használatát saját fejlesztésű lézerszenzorral, illetve az adatok fúzióját más elvű érzékelők esetében is. Olyan általános megoldásra törekszem, ahova egyszerűen beilleszthetők a különböző érzékelőktől származó adatok.

A kültéri környezet lokalizációs feladataira fejleszték ki módszereket, vizsgálom OEM GPS használatának lehetőségét, a lokalizációs adatok pontosítási módszerét ismert környezetben, illetve a körbelátó optikával készített képsorozatokból a térképkészítés menetét. Megoldást keresek mobil robot kültéri durva lokalizációjára GPS használatával. Különböző GPS szenzorok esetén tanulmányozom, hogy mennyire pontosan lehet meghatározni a robot helyzetét. Megvizsgálom, hogy a GPS érzékelő által meghatározott helyzetet milyen módon tudom körbelátó képek használatával ismert környezetben pontosítani. Számítógépes program formájában megvalósítok olyan eljárást, amelynek a segítségével mobil robotok navigálásához topológiai térkép építhető felülnézeti körbelátó képek központi részének transzformálásával. Az elkészített térkép segítségével pályát határozok meg, az eredményeket kültéren tesztelem saját készítésű guruló mobil robot segítségével.

Végül olyan szakmaspecifikus problémákra tervezek választ adni, mint a lépegető robotok esetén alkalmazandó járási stratégia kialakításának módszere, a mobil robotnavigációs és akadály-elkerülési problémájának gyakorlati megvalósítása, illetve az alkalmazott körbelátó kép minőségének és felbontásának érdemi javítása, hogy minél több részletet figyelembe lehessen venni az előző feladatoknál. Kifejleszték saját készítésű négy lábú robothoz statikusan stabil járási stratégiát, majd vizsgálom, hogy a robot gyorsabb előrehaladása érdekében milyen dinamikus stabilitást adó lépésszekvencia készíthető. Kidolgozok olyan mozgásszerkesztő szoftvereszközt, amelynek segítségével hatékonyan lehet a saját megvalósítású hatlábú robothoz járási algoritmusokat kialakítani. Bemutatom saját fejlesztésű és készítésű guruló és lépegető robotok esetében az előző célok fizikai megvalósítását, rámutatok a navigációra és térképezésre kifejlesztett algoritmusok és módszerek kihasználásának lehetőségeire. Hagyományos kameraképen optikai folyam számíttással vizsgálom az akadályok detektálásának lehetőségét. Megmutatom szakmaspecifikus alkotásként a PAL-optika és a körbelátó szenzorok képe minőségének javítását és így összetett navigálási feladatokban való alkalmazhatóságuk hatékonyabb lehetőségét.

ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

Optikai folyam technikák

Az optikai folyamon [31] azt értjük, ahogy a képintenzitások mozgása megjelenik egymás utáni képeken. Különböző típusú képbemenetekhez az egyes optikai folyam algoritmusok más-más eredményt adhatnak [32], ezért célszerű a bemeneti adatok milyenségének figyelembevételével választani a lehetséges algoritmusok közül, hogy a kapott vektormező minél jobban közelítse a képeken látható objektumok valós fizikai mozgását. Inputként a videó egymáshoz közeli képkockáit szokás megadni.

Az optikai folyam algoritmusok az összetartozó képpontok megtalálásához feltételezik, hogy ezek intenzitása közel megegyezik. Szinte az összes módszer alapját ez a feltételezés adja, amit optikai folyam korlátozásként ismerünk [32]

Jelölje $I(x, y, t)$ egy adott t pillanatban a képintenzitást, amely egy időben változó képsorozatból származik. Két feltételezéssel élünk:

- az $I(x, y, t)$ intenzitás a kép nagy részén alig függ az x, y koordinátáktól;
- a mozgó vagy álló objektumok pontjainak intenzitása (lényegében) nem változik az idő múlásával.

Legyen néhány objektum a képen, vagy csak néhány objektumpont, ami dt idő alatt (a gyakorlatban egymás utáni képvétel alatt) elmozdul egy (dx, dy) távolságra. Az $I(x, y, t)$ intenzitásértékek Taylor-sorba fejtésével és a 2. feltétel felhasználásával kapjuk:

$$-\frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial I}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial I}{\partial y} \frac{dy}{dt}. \quad (1)$$

Ezt a kifejezést rendszerint az optikai folyam feltételi egyenletének (vagy csak optikai folyam korlátozásnak) nevezik, ahol $dx/dt=u$ és $dy/dt=v$ az optikai folyammező x és y koordináta irányú összetevői.

Az egyenlet két ismeretlent (u , v) tartalmaz. A megoldásra a következő technikák a legelterjedtebbek [32]:

- A differenciális módszerek: régebbi technológiák, de megbízhatóak. Az újabbaknak nem sikerült jelentős minőségjavulást hozniuk. Mozgási modell szempontjából a paraméter nélküli algoritmusokhoz sorolhatók;
- Horn–Schunck-féle módszer [31];
- Lucas–Kanade-módszer és ennek piramisos változata [33]
- Korrelációs technikák (block matching) [34].

Neurális hálózatok

A neurális hálózat egy többprocesszoros, párhuzamos adatfeldolgozású számítógép [35]. Az egyes processzorokat neuronoknak (vagy sejtprocesszoroknak) nevezzük, melyek feladata a teljes rendszer feldolgozó képességéhez viszonyítva egy nagyon egyszerű átviteli függvény megvalósítása. Ezek a neuronok különféle módon kapcsolódhatnak egymáshoz, és ezek a kapcsolatok határozzák meg a topológiát.

A hálózatnak három fő jellemzője van: a processzorok, a topológia és a tanítási módszer.

A processzorok a bemenetükre érkező jeleket súlyozottan összegzik (W_{ij} az i -t j -vel összekötő kapcsolatból adódó súly) és egy átviteli függvény segítségével képezik kimenetüket. Átviteli függvényeként leggyakrabban ugrás, korlátozott lineáris, vagy szigmoid függvényt alkalmaznak.

A topológia a processzorelemek egymással alkotott kapcsolatának rendszerét jelenti, ami a legegyszerűbb esetben lehet úgynevezett előrecsatolt, vagy visszacsatolt, illetve a kettő kombinációja. Az előrecsatolt hálózat jellemzője, hogy benne a jelek a bemenet felől mindig a kimenet felé haladnak, míg a visszacsatolt hálózatok esetében több-kevesebb esetben a jel haladhat visszafelé is.

A tanítási módszer főbb típusai a felügyeletes tanítás és a felügyelet nélküli tanítás. A tanítási szabályként leggyakrabban az úgynevezett Hebb-szabályt, vagy a Delta-szabályt alkalmazzák.

EREDMÉNYEK

Beltéri, lokális környezetre vonatkozó megoldások

Beltéri környezetben a mobil robotok különböző szenzorok, illetve PAL-optika használatával történő navigációja, akadály-elkerülése terület megoldásainak részletezése:

1. Az akadály-elkerüléshez, pályatervezéshez, foglaltsági hálós reprezentációhoz, illetve vektoros térképkészítéshez kapcsolódó eredményeim:

Pályatervezési algoritmusokat valósítottam meg és hasonlítottam össze foglaltsági hálós térkép-reprezentáció esetében. Képfeldolgozás alapú eljárást fejlesztettem ki négylábú lépegető mobil robot lábkörnyezetének valós idejű vizsgálatára és az akadály-elkerülésre PAL használatával.

A kifejlesztett EXPLORADORES II. robotrendszerben [19], [21] tárgyreflexiós szenzorcsoporttal alkotott térképek esetén foglaltsági hálós reprezentáció alkalmazásával összehasonlítottam szabályrendszer alapú, neurális hálózattal támogatott, tanulásra képes, potenciálmezővel kalkuláló és gráfbejáráson alapuló pályatervezési módszereket. Rámutattam az egyes technikák használhatóságára, előnyös, valamint részben a reprezentációból és a nagy

memóriaigényű megvalósításból adódó hátrányos oldalaira (1. táblázat). A hullám-továbbterjesztéses módszernek olyan továbbfejlesztését adtam, amely előre nem ismert környezetben is megoldást szolgáltat [20].

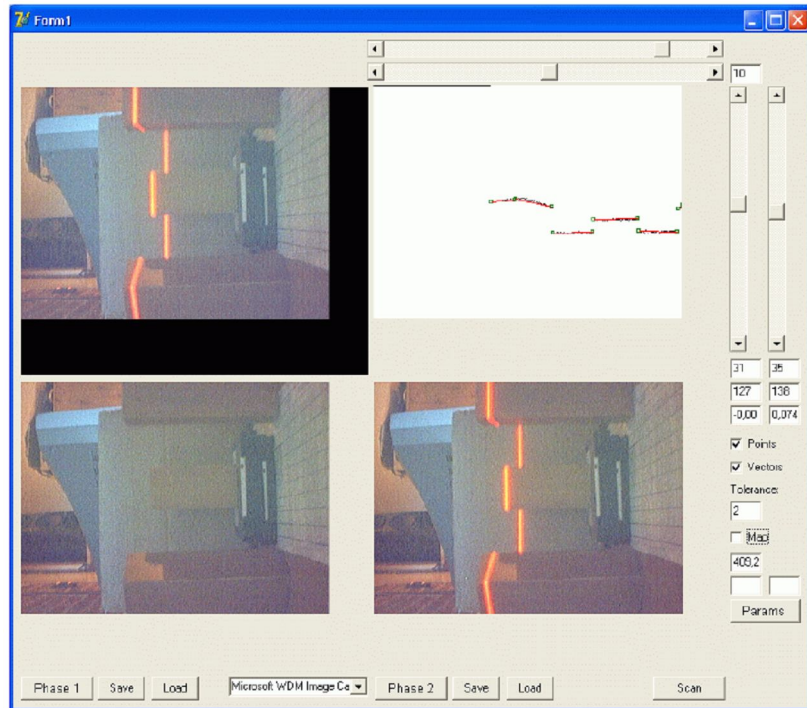
Lépegető robotok esetében felmerülő feladatra adok választ PAL-optikával készített képfeldolgozásával. Olyan képfeldolgozó eljárásgyűjteményt készítettem, amelyből felépített rendszer [16], [17] négy lábú robot hasára szerelt körbelátó kamera képének vizsgálatából valós időben detektálta a lábak lokális környezetét és így lehetővé teszi az ütközésmentes, biztonságos mozgást.

<i>Módszer (algoritmus)</i>	<i>Környezeti feltétel</i>	<i>Előny (e) / hátrány (h)</i>	<i>Fejlesztő javaslat, megjegyzés</i>
szabályalapú	ismeretlen	e: mikrovezérlőben megvalósítható => autonómia, h: minden esetre fel kell készülni; nem mindig talál utat; kis hatékonyság	utolsó lépés tárolásával javítható
neurális hálós	ismeretlen	e: nem kell minden esetet számba venni, h: tanítás eredményét tesztelni kell; nem mindig talál utat	utolsó lépés tárolásával javítható
tapasztalatgyűjtő	ismeretlen	e: megismert környezetben hatékony lehet, h: nem mindig talál megoldást	saját módszer
hullám-továbbterjesztéses	ismert	e: ha van megoldás, megtalálja a legrövidebb utat, h: nagy memóriaigény	továbbfejlesztés: számítási szempontból növelt hatékonyság nyolcas szomszédság esetén
módosított hullám-továbbterjesztéses	ismeretlen	e: megtalálja a megoldást, h: nem globálisan optimális	saját eredmény
gráfbejáráson alapuló	ismert	h: jelentős számítási igény	
képfeldolgozás alapú	ismeretlen	e: valós idejű működés, h: fényviszonyokra érzékeny; lokális technika	saját eredmény

1. táblázat A vizsgált pályatervező algoritmusok összefoglalása

Módszert adtam robotnavigációnál alkalmazható akadálydetektálásra strukturális megvilágítást alkalmazó képfeldolgozás használatával. Szenzoradatok térképbe illesztésének más megközelítését is vizsgáltam. Ezen belül megadtam akadályok detektálásának és tárolásának egy tömörebb, vektoros reprezentációját, amely általános célú megvalósítást [12], akár több szenzor adatainak fúzióját is képes kezelni. Saját fejlesztésű, strukturális megvilágítást alkalmazó lézerszenzorral, ultrahangos érzékelővel [10] eredményesen teszteltem a rendszert (1. ábra).

A lézerszenzor működési elve a következő: a vetítő által kibocsátott lézersugár a megfigyelt testre vetül, majd arról az érzékelő egységbe érkezik. A strukturált megvilágítás módszere szerint a minta torzulásából következtetünk a tárgy távolságára és alakjára. Kalibrálás után egy adott célpontról visszaverődő csíkdarab helyzetéből a tárgy pont távolsága egyértelműen meghatározható.



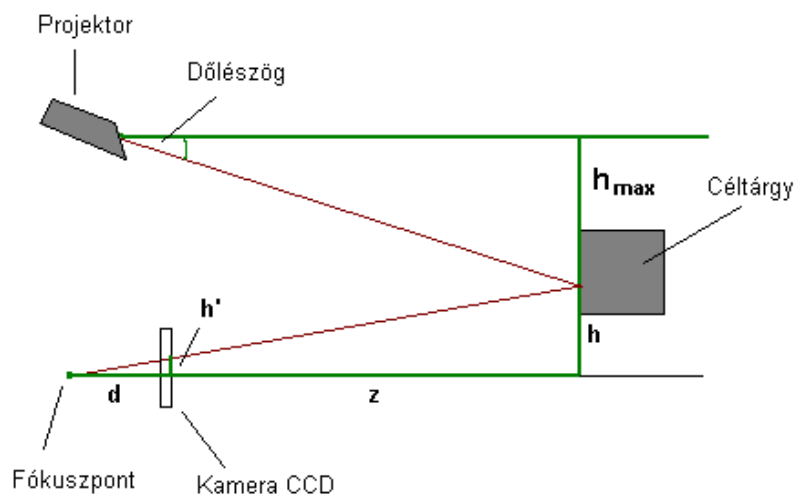
1. ábra. A rendszer felhasználói felülete. (lent) Inputkép lézermintával és nélküle lent; (fent) simított kép és a vektorizálás eredménye (elforgatva)

A mérési módszert szemlélteti a 2. ábra. Az ábrán d jelöli a fókusz távolságot (a CCD és a fókuszpont távolsága), z a tárgy fókuszponttól mért távolságát, h a lézercsík tényleges magasságát, h' a kameraképen érzékelhető magasságot és h_{max} a maximális magasságot. Hasonló háromszögekéből:

$$d / h' = z / h, \quad (2)$$

amiből a kamera dőlésszögét (α) figyelembe véve kapjuk

$$z = \frac{d h_{max}}{h' + d \operatorname{tg} \alpha}. \quad (3)$$



2. ábra. Strukturált megvilágításos mérés

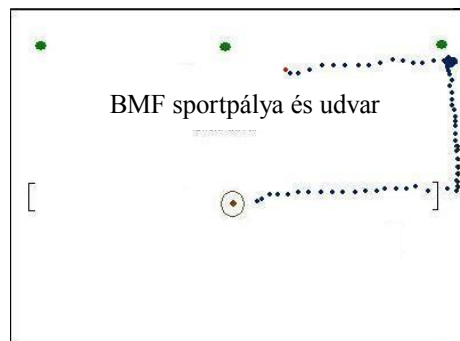
Kültéri navigációs eredmények

Kültéri környezetben a lokalizációs feladatra kifejlesztett megközelítéseket (GPS használatának lehetőségét, ismert környezetben az így kapott helyzetadatok pontosítási módszerét) és a térképkészítés, valamint lokalizáció körbelátás-alapú megoldását mutattam be. Eredményeim kültéri navigációval és körbelátás alapú térképkészítéssel kapcsolatban:

Megoldást adtam mobil robot kültéri durva lokalizációjára GPS használatával. Eljárást dolgoztam ki és valósítottam meg mobil robot kültéri lokalizációjának pontosítására ismert környezetben, körbelátó képek használatával.

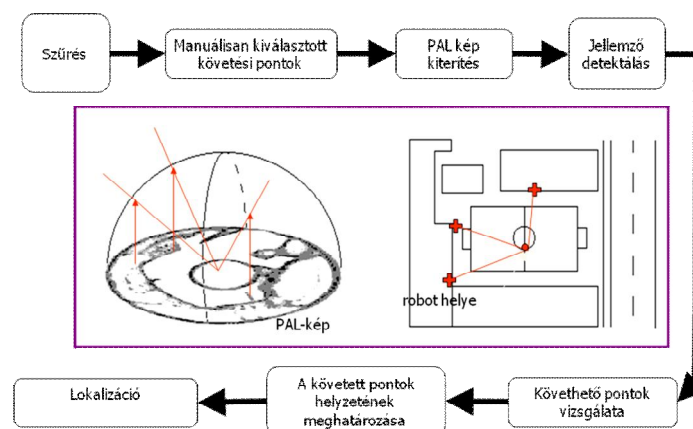
A látásalapú technikákat kültéri környezetben célszerű más szenzorok használatával kombinálni. Ezt alkalmazva GPS segítségével történő durva lokalizáció lehetőségét vizsgáltam a kifejlesztett rendszerben (3. ábra) [11], [13], [14].

Bemutattam, hogy ismert környezetet feltételezve, CCEXplorer robotunk [14] körbelátó kamerás kiegészítésével miként javítható a lokalizáció. A gyűrűs képen megjelenő jellemző pontok vizsgálatával és térgeometriai számítással a mobil robot helyzetét tovább pontosítottam a GPS segítségével mérhető értékek mintegy felére. A helyzetinformáció mellett a robot orientációját is származtattam a képből [9].



3. ábra. Navigációs rendszer tesztelése robottal [14] (Jelek: kézilabdakapuk: [, pálya közepe: karika, világítóoszlopok: 3 nagy pont a felső részen, útpontok: kisebb pontok)

A jellemző pontokat Harris-féle módszerrel, a jellemzők követését Lucas–Kanade-féle technikával oldottam meg (4. ábra). A lokalizáció a GPS-es értékeknek kevesebb, mint felére volt javítható annak függvényében, hogy a robot éppen milyen relatív helyzetet foglalt el az ismert pontokhoz képest.



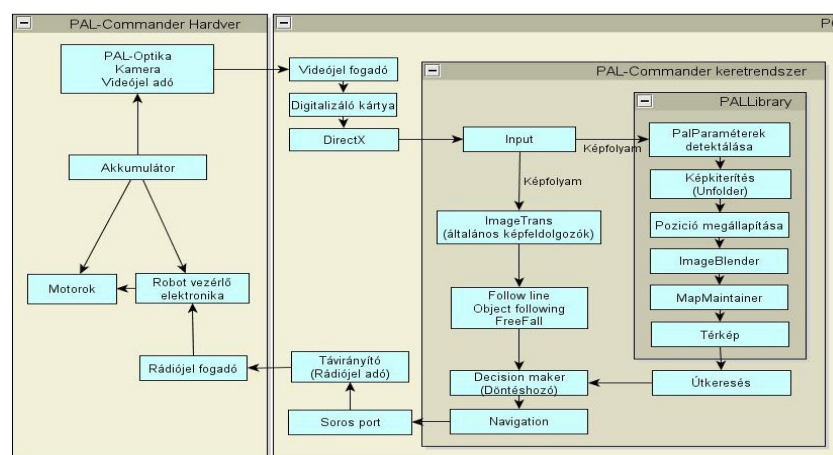
4. ábra. A lokalizáció főbb lépései és a tesztkörnyezet (a BMF korábbi telephelyének sportpályája) vázlata [9]

Mobil robotok navigálásának céljából eljárást dolgoztam ki és valósítottam meg topológiai és felülnézeti térképek létrehozására. Egy olyan PAL-optikával felszerelt mobil robot (5. ábra) megtervezését és kivitelezését mutattam be, amely autonóm navigációra képes [8]. Autonómián itt olyan feladatok önálló elvégzésére való képességet értek, mint vonalkövetés, akadálykerülés, és főként önálló helyzet-meghatározás, térképezés, illetve térkép alapján pálya bejárása.



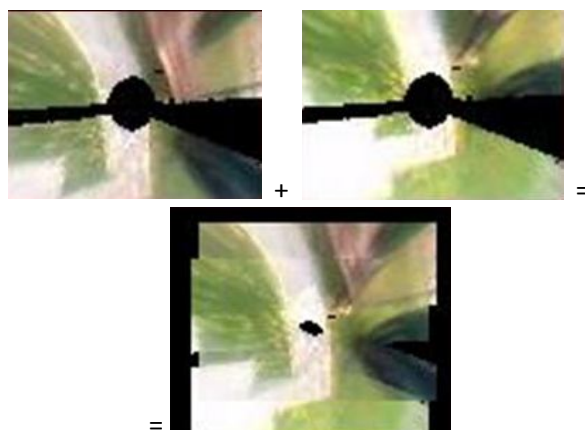
5. ábra. Modellautóból átalakított robot PAL-optikával: PALCOM

Az elkészített rendszer (6. ábra) főbb jellegzetessége, hogy az alapvető vonalkövetési, sávkövetési és objektumkövetési feladatokon túl, egy hibrid módszerrel, genetikus algoritmussal és hiba-visszaterjesztéses neurális háló segítségével képes feltérképezni a számára ismeretlen környezetet [2], [6], [7]. Ennek felhasználásával a robot képes a felhasználó által megadott célpozícióba ütközésmentesen eljutni.



6. ábra. A PALCOM-rendszer moduljai és kapcsolataik

A térképkészítés olyan virtuális felülnézeti képpé transzformálással kezdődik, amikor a gyűrűs kép központi részét úgy módosítom, hogy az eredetileg egyenes vonalokról készített kép egyenesnek is látszódjék. Az így kapott képrészeket un. blending szűrő felhasználásával és az említett, betanított neurális háló segítségével ragasztom össze nagyobb rendszerré (7. ábra). Az útkeresés során a kapott térképen adaptív binarizálással határozom meg a szabad területeket és hullám-továbbterjesztéses algoritmussal határozom meg a célbajutáshoz szükséges pályát.



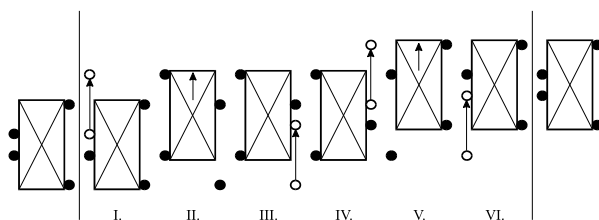
7. ábra. Virtuális felülnézeti képpé transzformált PAL-képek összeragasztása [2], [6]

Szakmaspecifikus eredmények

Ezután olyan szakmaspecifikus problémákra adtam választ, mint a lépegető robotok esetén alkalmazandó járási stratégia kialakításának metódusa, a mobil robotnavigációs és akadály-elkerülési problémájának gyakorlati megvalósítása, illetve az alkalmazott körbelátó kép minőségének és felbontásának érdemi javítása, hogy minél több részletet figyelembe lehessen venni az előző feladatoknál. Szakmaspecifikus alkotásként megvalósított mobil robotok és navigációjuk terén elért eredmények:

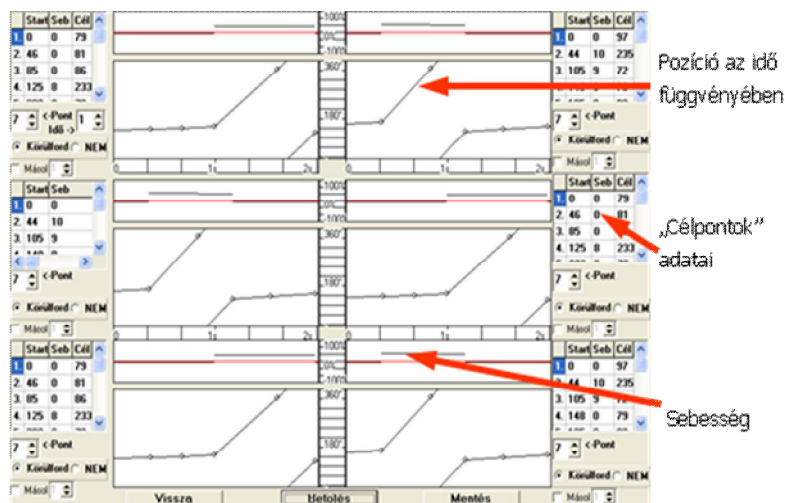
Saját készítésű négy lábú és hat lábú robotokon járási stratégiákat vizsgáltam és mozgásszerkesztő szoftvereszközt készítettem járási algoritmusok kialakításához. Lépegető robotok esetén az egyik alapvető feladat, a megfelelően összehangolt, stabil járási stratégia kialakításának vizsgálata. Négy lábú mobil robot esetén statikus stabilitást nyújtó mozgássorozatot készítettem előre- és hátrafele haladáshoz, forduláshoz, valamint oldalra lépéshez, majd gyorsabb mozgás érdekében olyan változatot is kifejlesztettem, amikor maga a haladás dinamikusan stabilizál [3], [19], [21].

A példa (8. ábra) az előrelépés fázisait szemlélteti. A kitöltött körök (●) azokat a lábakat jelképezik, amelyek éppen érintkeznek a talajjal, tehát alátámasztási pontok, az üres körök (○) pedig a felemelt lábakat ábrázolják. A nyilak a lábak, illetve a test mozgását jelölik.

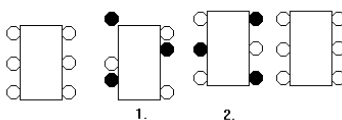


8. ábra. Előrelépés stratégiája [21]

A FOBOT hat lábú robot lábai forgómozgást végeznek és azokat kellett megfelelően szinkronizálni a haladás érdekében. A hatékony ütemezés céljából mozgásszerkesztő programot fejlesztettem ki (9. ábra), amely sikeres szimulációs ellenőrzés után a robotnak elküldi a megfelelően beállított és időzített utasításszekvenciát. A lábak mozgatása tesztelhető egyenként, vagy összehangoltan. Ez utóbbi esetben lehetőség van járási stratégiák kialakítására – tripod (10. ábra), quadropod, „hernyó” mozgások készültek el –, továbbá a pozíciók változásának számszerű és grafikusán ábrázolt megjelenítésére és figyelemmel kísérésére [14].

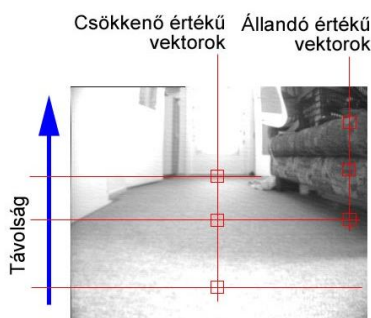


9. ábra. Járászerkesztő



10. ábra. Tripod lépés

Az elkészített guruló mobil robotok és kifejlesztett navigációs rendszereik közül a CCEXplorer modellautó alapú rendszert ismertettem részletesebben [15]. A robot optikai folyamat vizsgálatával detektálta az előtte lévő munkakörnyezetet (11. ábra), GPS használatával lokalizálta pozícióját és később körbelátó optikás kép segítségével pontosította azt ismert környezetben [9].



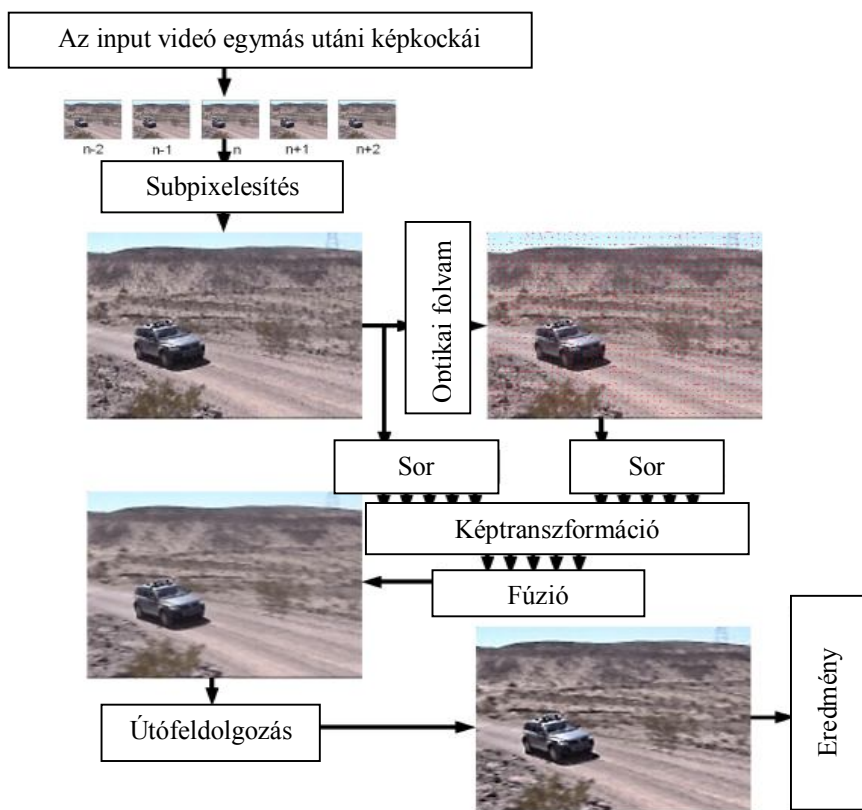
11. ábra. Mélységadatok számításának elve kétdimenziós kép alapján

Saját megvalósítású roboton keresztül megmutattam a PAL-optika és a körbelátó szenzorok képének minőségi javítását és így összetett navigálási feladatokban történő alkalmazhatóság hatékonyabb lehetőségét. Azt vizsgáltam, hogy miként lehet a PAL-optikás képsorozatokat minőségét, részletgazdagságát javítani a super-resolution technikával. Kihhasználva ezt a lehetőséget, tovább pontosíthatjuk az egyébként egyszerűen kinyerhető helyzet- és irányadatokat, ezáltal mobil robotikában még precízebb térképeket, vagy akadályhelyzeteket határozhatunk meg. Különböző optikai folyamat technikákat implementáltam és hasonlítottam össze a minőségjavítás szempontjából [5]. A kifejlesztett super-resolution rendszer tetszőleges videószekvenciát képes feldolgozni és PAL-képek esetén részletgazdag körbelátó képsorozatokat készít [1].

ÖSSZEGZÉS, KONKLÚZIÓ

A kilencvenes évek közepétől több mobil robotot készítettem – a kutatásokba bevont hallgatók segítségével –, melyek majd mindegyike más szenzorok mellett, hagyományos és körbelátó kamerákat is használt. A robotépítő tevékenység e területen elért megoldásait prezentálja a cikk három csoportra osztva: beltéri környezetben végzett navigáció és akadályelkerülés; kültéri környezetben lokalizáció pontosítása és térképkészítés; szakmaspecifikus alkotásként elkészített olyan rendszerek, mint lépegető robotok járási stratégiájának megvalósítása és körbelátó szenzorok képének minőségi javítása.

Beltéri környezetben a mobil robotok különböző szenzorok, illetve PAL-optika használatával történő navigációjához, akadály-elkerüléséhez pályatervezési algoritmusokat valósítottam meg és hasonlítottam össze foglaltsági hálós térkép-reprezentáció esetében. Ráműttem az egyes technikák (szabályrendszer alapú, neurális hálózattal támogatott, tanulásra képes, potenciálmezővel kalkuláló és gráfbejáráson alapuló pályatervezési módszerek) használhatóságára, előnyös, valamint részben a reprezentációból és a nagy memóriaigényű megvalósításból adódó hátrányos oldalaira. Az akadály-elkerülési feladat kiegészítéseként, képfeldolgozás alapú eljárást fejlesztettem ki négy lábú lépegető mobil robot lábkörnyezetének valós idejű vizsgálatára PAL optika használatával.



12. ábra. Az implementált rendszer működésének sematikus ábrája [5]

Szenzoradatok térképbe illesztésének más megközelítését is vizsgáltam. Ezen belül megadtam akadályok detektálásának és tárolásának egy tömörebb, vektoros reprezentációját, amely általános célú megvalósítást, akár több szenzor adatainak fúzióját is képes kezelni. Saját fejlesztésű, strukturális megvilágítást alkalmazó lézerszenzorral, ultrahangos érzékelővel teszteltem a rendszert.

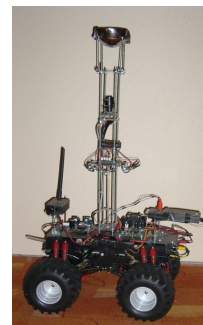
Kültéri környezetben a lokalizációs feladatra kifejlesztett megközelítéseket (GPS használatának lehetőségét, ismert környezetben az így kapott helyzetadatok pontosítási módszerét) és a térképkészítés, valamint lokalizáció körbelátás-alapú megoldását mutattam

be. A gyűrűs képen megjelenő jellemző pontok vizsgálatával és térgeometriai számítással a mobil robot helyzetét tovább pontosítottam a GPS segítségével mérhető értékek mintegy felére. A helyzetinformáció mellett a robot orientációját is származtattam a képből. Mobil robotok navigálásának céljából eljárást dolgoztam ki és valósítottam meg topológiai és felülnézeti térképek létrehozására. Egy olyan PAL-optikával felszerelt mobil robot megtervezését és kivitelezését mutattam be, amely autonóm navigációra képes. Az elkészített rendszer főbb jellegzetessége, hogy hibrid módszerrel, genetikus algoritmussal és hiba-visszaterjesztéses neurális háló segítségével képes feltérképezni a számára ismeretlen környezetet.

A térképkészítés olyan virtuális felülnézeti képpé transzformálással történik, amikor a gyűrűs kép központi részét úgy módosítom, hogy az eredetileg egyenes vonalokról készített kép egyenesnek is látszódjék. Az így kapott képrészeket ún. blending szűrő felhasználásával és az említett, betanított neurális háló segítségével ragasztom össze nagyobb rendszerré. E térkép felhasználásával a robot képes a felhasználó által megadott célpozícióba ütközésmentesen eljutni.

Ezután olyan szakmaspecifikus problémákra adtam választ, mint a lépegető robotok esetén alkalmazandó járási stratégia kialakításának metódusa, a mobil robot navigációs és akadály-elkerülési problémájának gyakorlati megvalósítása, illetve az alkalmazott körbelátó kép minőségének és felbontásának érdemi javítása, hogy minél több részletet figyelembe lehessen venni az előző feladatoknál. Saját készítésű néglábú és hatlábú robotokon járási stratégiákat vizsgáltam és mozgásszerkesztő szoftvereszközt készítettem járási algoritmusok kialakításához.

Saját megvalósítású roboton keresztül megmutattam a PAL-optika és a körbelátó szenzorok képének minőségi javítását és így összetett navigálási feladatokban történő alkalmazhatóság hatékonyabb lehetőségét. Azt vizsgáltam, hogy miként lehet a PAL-optikás képsorozatok minőségét, részletgazdagságát javítani a super-resolution technikával. Különböző optikai folyam technikákat implementáltam és hasonlítottam össze a minőségjavítás szempontjából. A kifejlesztett super-resolution rendszer tetszőleges videószekvenciát képes feldolgozni és PAL-képek esetén részletgazdag körbelátó képsorozatokot készít.



13. ábra. CCE Explorer első verziója előrenéző kamerával és a körbelátó rendszerrel

Az elért eredmények nemcsak a bemutatott kutatási feladatokban hasznosíthatók, hanem némelyik általánosabb megoldást is eredményezett. A lépegető robot hasára szerelt PAL-optikához készített képfeldolgozási rendszer olyan eljárásgyűjtemény, amely minimális továbbfejlesztéssel akár biztonsági szoftverként is funkcionálhat. A kamera mennyezetre helyezésével nagyobb környezet változása is egyszerűen vizsgálható. A kifejlesztett GPS-es rendszert járművekkel is sikerült tesztelni és az eredmény helyesen jelent meg a térképen. A super-resolution technikát megvalósító rendszer általános megoldást prezentál, így

kisfelbontású képsorozatot (pl. TV esetén) képes a mostani elvárásoknak eleget tévő nagyobb felbontásúra (HD minőségűre) alakítani.

Ezúttal is szeretném kifejezni kiemelt hálámát és tiszteletemet Greguss Pál professzor úrnak, aki körbelátó optikájával, és főként értékes meglátásaival, ötleteivel segítette kutatásaimat.

Felhasznált irodalom

- [1] Nagy, A., Vámosy, Z., „Super-resolution for Traditional and Omnidirectional Image Sequences”, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 6/1, Budapest Tech, 2009. pp. 117–130, ISSN 1785 8860
- [2] Vámosy, Z., „Map Building and Localization of a Robot Using Omnidirectional Image Sequences”, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 4/3, Budapest Tech, 2007. pp. 103–112, ISSN 1785 8860
- [3] Vámosy, Z., Molnár, A., „Exploratores, négy lábú lépegető robot készítése”, Híradástechnika (50th years of the Telecommunications Sci. Soc.), Vol. L. no. 9, 1999/9, pp. 50–76. ISSN 0018–2028
- [4] Vámosy, Z., Csink, L., Schröder, J., Okulan, N., Katzer, I., Molnár, F., Szabó, E., „Recognition Based Object Classifying System in Robot Environment”, Annales Univ. Sci. Budapest., Sect. Comp. Vol. 17, 1998. pp. 405–416., ISSN 0138–9491
- [5] Nagy, A., Vámosy, Z., „OpenCV C# Wrapper Based Video Enhancement Using Different Optical Flow Methods in the Super-Resolution” In: Proc. of 6th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Subotica, Serbia, September 26–27, 2008, ISBN 978-1-4244-2407-8
- [6] Vámosy, Z., „Topological Map Building from PAL Images with Navigation Purpose”, in Proc. 6th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Herl’any, Slovakia 2008, pp. 217–220., ISBN 978-1-4244-2106-0, IEEE C. N.: CFP0808E-CDR
- [7] Vámosy, Z., „Map Building and Localization of a Robot Using Omnidirectional Image Sequences”, in. Proc. 4th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, SACI 2007, Timisoara, Romania, 2007, pp. 191–194., ISBN: 1-4244-1234-X, IEEE C. N. 07EX1788
- [8] Mornailla, L., Pekár, T. G., Solymosi, Cs. G., Vámosy, Z., „Mobile Robot Navigation Using Omnidirectional Vision”, in Proc. 15th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, June 15–17, 2006, Balatonfüred, Hungary, CD, ISBN 963 7154 48 5
- [9] Vámosy, Z., Tóth, Á., Hirschberg, P., „PAL Based Localization Using Pyramidal Lucas-Kanade Feature Tracker,” in. Proc. 2nd Serbian-Hungarian Joint Symposium on Intelligent Systems, Subotica, Serbia and Montenegro, 2004, pp. 223–231.
- [10] Vámosy, Z., Fekete, B., Nyitrai, L., Molnár, A., „Ultrasonic Based Device for Blind and Visually Impaired People”, in. Proc. 13th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, Brno, Slovakia, 2004, pp. 405–407. ISBN 80-7204-341-2

- [11] Molnár, A., Vámosy, Z., „Navigation of a GPS Based Robot Vehicle”, in. Proc.13th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, Brno, Slovakia, 2004, pp. 408–413. ISBN 80-7204-341-2
- [12] Vámosy, Z., Kladek, D., Fazekas, L., „Environment Mapping with Laser-based and Other Sensors”, in. Proc. IEEE International Workshop on Robot Sensing, ROSE 2004, Graz, 2004, pp. 74–78. ISBN: 0-7803-8297-8
- [13] Vámosy, Z., „Navigation with a Six-legged Mobile Robot”, in Proc. of the 3rd International Mechatronics Symposium, in Memoriam Pál Greguss, Budapest, Hungary, 2003, (CD issue) ISBN 963-7154-22-1
- [14] Vámosy, Z., Molnár, A., Balázs, A., Pécskai, B., Supola, B., „FOBOT, the Hexapod Walking Robot”, in. Proc. 35th International Symposium on Robotics (IFR), Paris-Nord Villepinte, 23–26. March 2004, abstract: pp. 15–16, (CD issue)
- [15] Vámosy, Z., Molnár, A., Hirschberg, P., Tóth, Á., Máthé, B., „Mobile Robot Navigation Projects at BMF NIK”, in. Proc. International Conference in Memoriam John von Neumann, Budapest, December 12, 2003, pp. 209–219.
- [16] Molnár, A., Vámosy, Z., „Navigation of Mobile Robot Using PAL Optic”, in Proc. 10th International Conference on Advanced Robotics ICAR 2001, Workshop on Omnidirectional Vision, Budapest, 22–25 Aug. 2001, pp. 89–92.
- [17] Vámosy, Z., Molnár, A., „Obstacle Avoidance for a CLAWAR Machine”, in Proc. of 2nd International Symposium on Climbing and Walking Robots – CLAWAR’99, Portsmouth, Professional Engineering Publishing Limited, London, 1999, pp. 597–603.
- [18] Vámosy, Z., Novák, A., Horváth, M., „I. Henrik Wheeled Mobile Robot - Optimal Path Planning and Tracking Based on Visual Information”, in. Proc. 8th International Workshop on Robotics – RAAD’99, Munich, Germany, 1999, pp. 171–176.
- [19] Vámosy, Z., Molnár, A., Brünner, R., Varga, L., „EXPLORADORES II., the Four-Legged Mobile Robot”, in. Proc. International Symposium on Climbing and Walking Robots – CLAWAR’98, Brussel, Belgium, 1998, BSMEE. pp. 41–45.
- [20] Vámosy, Z., Molnár, A., Brünner, R., Varga, L., „Path Planning Methods for a Quadraped Mobile Robot”, in. Proc. DAAAM’98, Cluj-Napoca, Romania, DAAAM International, Wien, Austria, 1998, pp. 483–484.
- [21] Brünner, R., Molnár, A., Varga, L., Vámosy, Z., „Exploradores, Quadraped Robot”, in. Proc. 7th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region - RAAD’98, Bratislava, Slovakia, 1998, Slovak Academy of Sciences, pp. 215–220.
- [22] Vámosy, Z., „Recognition of Moving Objects with Varying Methods”, in. Proc. Fifth International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region – RAAD’96, HRA, Budapest, 1996, pp. 361–366.
- [23] Vámosy, Z., Vargha, Zs., Hangyási, T., „Vision Based Path Planning with Neural Networks”, in. Proc. Fifth International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region – RAAD’96, HRA, Budapest, pp. 535–538.
- [24] Vámosy, Z., Csink, L., Schröder, J., Okulan, N., Katzer, I., Molnár, F., Szabó, E., „Recognition Based Object Classifying System in Robot Environment”, in. Proc. Fourth Symposium on Programming Languages and Software Tools, Visegrád, 1995, pp. 418–426.

- [25] C. Mei, P. Rives, "Single view point omnidirectional camera calibration from planar grids". In Proc. ICRA, 2007 pp. 3945–3950.
- [26] Greguss, P., "Panoramic imaging block for 3D space", US patent 4,566,763, January 1986, Hungarian Patent granted in 1983.
- [27] R. A. Brooks, "Intelligence Without Representation", *Artificial Intelligence* Vol. 47 1991 pp.139–159.
- [28] J. J. Gibson, "Ecological Optics", *Vision Research*, 1961, I., pp. 253–62.
- [29] D. Marr, *Vision*. Freeman Publishers, San Francisco, 1982.
- [30] R. Wehner and S. Wehner, "Insect navigation: use of maps or Ariadne's thread?", *Ethology, Ecology, Evolution* 2, 1990) pp. 27–48.
- [31] B. Horn, B. Schunck, "Determining optical flow", In *Artificial Intelligence*, vol. 17, 1981/2, pp. 185–204.
- [32] G. Bradsky, A. Kaehler, *Learning OpenCV*, O'Reilly, 2008, Intel, Open Source Computer Vision Library, <http://www.intel.com/technology/computing/opencv>, látogatva: 2008-08-12
- [33] B. Lucas, T. Kanade, „An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision”, in Proc. 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 1981, pp. 674–679.
- [34] Y. M. Chi, T. D. Tran, R. Etienne-Cummings, „Optical Flow Approximation of Sub-Pixel Accurate Block Matching for Video Coding”, In. Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2007), vol. 1, April 2007 pp. 1017–1020.
- [35] Vörös, G., *Bevezetés a Neurális számítástechnikába*, LSI Oktatóközpont, Budapest, 1997.