

ÁTTEKINTÉS A TELEROBOTIKÁRÓL ÉS A DINAMIKUS ROBOT-MODELL PARAMÉTEREINEK IDENTIFIKÁCIÓJÁRÓL

Juhász Tamás

I. éves doktorandusz hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Irányítástechnika és Informatika Tanszék

BEVEZETÉS

Ennek a dolgozatnak az első részében a szerző betekintést ad a telerobotika tudományterületére. A második részben a robotok dinamikus viselkedésének vizsgálatához felállítható szabályozástechnikai modellekben alkalmazott numerikus paraméterek modern identifikációs megoldásait taglalja. Végül kitekintést ad ennek a két területnek az Irányítástechnika és Informatika Tanszéken folyó robot-szimulációs projektekre vetített hatásaira.

ÁTTEKINTÉS A TELEROBITOKÁRÓL

A telerobotika ma olyan szerteágazó területeken használatos, mint a radioaktív anyagok kezelése, a távsebészet, a hadiipar vagy a csillagászat.

A bolygókutatások figyelemre méltó eredményeit minden média sikerként könyvelte el: emlékezzünk például a NASA „*Pathfinder*” expedíciójának kis mini-robotjára, a „*Sojourner*”-re a Marson [1], vagy a *Pioneer* és *Voyager* műholdak diadalára a távoli Naprendszer kutatásában.

A katonai légi felderítést végző repülőgépek ma már pilóta nélkül autonóm módon repülnek. 1990 óta nagymértékű fejlődés figyelhető meg ezen a területen: ma ezeket a gépeket távvezérléssel magas szinten irányíthatjuk, viszont alacsonyabb szinten már minden döntés a fedélzeti számítógépekre van bízva [2]. Egy másik katonai alkalmazás az aláaknázott területek akna-mentesítése (pl.: Vietnámban vagy a Közel-Keleten).

Agyműtétek és egyéb sebészeti beavatkozások [3] (pl.: dűlmirigy reszekció) esetén egyre nagyobb előszeretettel alkalmazzák a robotokat, melyek a sebész kezének mozgását lehetőleg követik.

Csoportosítás a telerobotikában

A telerobotika kifejezés olyan távolról vezérelt robotrendszerekre utal, melyek működése interaktívan befolyásolható. A távvezérelt robotokat irányítástechnikailag két csoportra oszthatjuk: az első csoportba tartoznak azok, amelyek egy rögzített állványzatra vannak szerelve. Ezek általában sok szabadságfokú robotkarok, melyeket veszélyes anyagok manipulálására alkalmaznak legfőképpen. A másik csoportot a mobil robotok családja adja. Ebbe tartoznak az aknafelderítő- és kezelő robotok, az emberi személyzet nélküli automata légi járművek (megfigyelési és felderítési feladatokra) vagy a mélytengeri kutatórobotok, stb.

Az eszközöket megkülönböztethetjük annak tekintetében, hogy ténylegesen lehetővé teszik-e a távoli cselekvést, vagy csak a „passzív szemlélődést” támogatják. Az utóbbi általában a roboton levő fedélzeti kamerák képének monitorozásában merül ki a felhasználó számára. Létjogosultsága többnyire az előbbi típusba tartozó rendszereknek van, ugyanis feltehető, hogy a manipulálandó vagy vizsgálandó objektum túl komplex egy teljesen autonóm robot számára, vagy túl veszélyes annak megközelítése egy embernek.

Általános esetben egy (humán) szakértő kielemezi a környezetet, döntést hoz, valamint beavatkozást kezdeményez: mindezeket a távolból felügyelve. Így a távvezérelt robotok úgy is tekinthetők, mint az (emberi) érzékszervek és korlátok bővítései, kiterjesztései.

A telerobotika fejlődését – az eddig említett orvosi-, hadi-, csillagászati- és atomenergiái alkalmazási területeket alapul véve – ma és a közeljövőben a felhasznált technológia fejlődése szabja meg.

Általános felépítés

Egy távolról vezérelt robotrendszer az alábbi három fő komponensből áll [4]:

- vezérlő interfész
- kommunikációs kapcsolat
- maga a robot

Vezérlő interfész

Általában meg kell jeleníteni a robot fedélzeti kameráinak képét, műszereinek adatait egy monitoron (kivétel, ha egy másik szoftver irányítja az adott robotot, azaz szimuláljuk az emberi szakértőt: lásd később).

Szükséges lehet az interaktív beviteli eszközök (joystick, taktilis érzékelők, VR kesztyű, motion capture, egér, billentyűzet, stb.) kezelése is, valós emberi távvezérlés esetén. Természetesen ezeket is helyettesíthetjük „virtuális eszközökkel”, ha csak szimulációról van szó. Ezen esetben az egyen beviteli perifériák jeleit programból vezérelten küldjük el a robotnak.

Kommunikációs kapcsolat

Rögzített robotkarok esetén használhatunk egyszerű vezetékes kapcsolatot a vezérlő interfész és a manipulátor között. Ezzel szemben a mobil robotok kábelekkel történő irányítása nehézkessé válna, így itt elterjedt a vezeték nélküli kommunikáció használata. Mindkét esetben kétirányú kapcsolatra van szükség, hogy az irányító rendszer visszacsatolást kapjon a robottól az egyes fedélzeti szenzorok és kamerák állapotát, adatait tekintve. Az analóg vagy digitális kapcsolatok változatos sávszélességet igényelnek. Kijelenthetjük, hogy a robot felől érkező képi (video) információ igényli a legnagyobb kapacitást a csatornán. Egy jó megközelítés az, hogy a robot mozgásának sebessége szabja meg azt, hogy milyen felbontású képet küld a vezérlőnek. Előre detektált szabad térben történő gyors

mozgás nem igényel annyi on-line információt, mint a finom navigáció az akadályok közvetlen közelében.

A robot általános felépítése

A mechatronikai felépítés az alkalmazási területek számosságát tekintve nagyon szerteágazó lehet. Az architektúra főbb komponensei:

- fedélzeti energetikai alrendszer az egyes elemek tápellátására
- kommunikációs alrendszer a vezérlő felé
- beágyazott program alrendszer a magas szintű parancsok különböző lokális vezérlőjelekké és utasításokká történő átalakítására (pl.: szervo szabályozás)
- alacsony- és magas szintű szenzorok (pl.: GPS, kamerák, távolságmérők)

A vezérlő (a szakértőé) az elsődleges szerep a teljes irányítási folyamatban. Átala kerülnek kiértékelésre a robot felől a kommunikációs kapcsolaton érkező video és egyéb adatok. Az erre történő válaszként érkező utasítások hatására a robot végrehajt egy cselekvést a távoli környezetben. Ennek hatására a robot újra elküldi a szenzorok adatait, melynek következtében egy zárt szabályozási körről beszélhetünk. Másodsorban kijelenthető, hogy ennek következtében egyik architektúrális komponens sem tervezhető át anélkül, hogy a többit ne érintenénk valamilyen módon. Egy hatékony teleoperációs rendszer tervezésekor egységes mérnöki szemléletet kell tükröznünk.

Aktuális irányzatok

Mind az aktuális, mind a közeljövőben tervezendő rendszereket vizsgálva két aspektusból szemlélődhetünk: az alkalmazási- illetve a technológiai réteg felől. Az alkalmazási területek sokrétűségével szemben a technológiai nézőpont kevésbé specifikus, most jobban megfelel az általános áttekintő szemléletünknek.

A lokális intelligencia igénye a távvezérlés során

A szakértő terhelését csökkentendő az irányított rendszernek törekednie kell minél több feladatot autonóm módon elvégezni. Erre jó példa az alacsonyabb szintű szervo-szabályozás átvétele a kezelő elől. Némely esetekben nem is lehet a dolgot másként megoldani: például egy sok szabadságfokú robotkar esetében egyszerűen nincs elég idő arra, hogy egyenként adjuk meg az egyes szegmensekhez tartozó csuklók adatait. Ilyenkor egyszerűen a megfogót mozgatjuk, és a rendszerre bízunk a csuklók optimális vezérlését. Az úrkutatásban használt felderítő robotok a nagy távolság miatt elviselhetetlen késleltetéssel reagálnának a kezelő utasításaira. Ekkor egy lehetséges megoldás az, hogy a kezelő csak kijelöli a bejárando pályán bizonyos vezérlőpontokat, vagy céltárgyakat, melyeket a robot a lokális pályatervező algoritmusával sorra megközelíti, a saját szenzoraiból érkező adatok felhasználásával. Hasonló példa hozható a légiközlekedésben alkalmazott robotpilóták tekintetében, melyek a GPS rendszer segítségével pontról pontra irányítják a repülőgépet.

Miniatürizálás, mint mai tendencia

A teleoperációval működtetett, centiméter vagy akár milliméter nagyságú robotok kezdenek elterjedni a csővezetékek vagy egyéb, nehezen hozzáférhető helyek vizsgálata céljából az atomerőművekben [5], és az ipar más területein. Ezek a robotok akár túlélők felkutatására is használhatók egy katasztrófa-sújtott övezetben. A tizedmilliméter alatti tartomány nano-robotjai gyökeresen új diagnosztikai és sebészeti eljárások kidolgozását tették lehetővé a közelmúltban. A méret csökkentésével növelni kell az autonómiát, ugyanis a teleoperáció nehézkessé válhat. A legújabb kutatások eredményei a mikro-elektromechanikai rendszerek (MEMS), melyek esetében új anyagok alkalmazásával mikrométer nagyságrendű motorokat és manipulátorokat tudnak előállítani.

A DINAMIKUS ROBOT-MODELL

Klasszikus esetben a mobil robotok irányítására az egyszerű sebesség-alapú kinematikai modellt használják, melyet kibővítenek olyan kényszerek teljesítésének igényével, melyek gyakran fizikailag nem plauzibilisek. Ezzel szemben a dinamikus modellek jobban közelítik a ténylegesen megvalósuló, valódi működést. Ezekben a modellekben viszont sok olyan paraméter van, melyeket „testre kell szabni” az irányítandó rendszer tulajdonságait alapul véve. Például szükség van az egyes elemek inercia értékeire, a csuklópontokban fellépő súrlódási együtthatókra, stb. Sajnálatos módon ezeket a mennyiségeket nem tudjuk közvetlen módon mérni. Így egy olyan módszert kell találnunk, amely könnyen mérhető paramétereiből meg tudjuk határozni ezeket (azaz képes azokat identifikálni). Egy másik fontos alkalmazási terület a kalibráció, amely a mérési hibák csökkentésére szolgál, melyek szintén származhatnak abból, hogy nem ismerjük pontosan a fizikai paramétereiket. Ezen újszerű problémára hivatkozva kevés anyag létezik, de nem kétséges, hogy a közeljövőben nagy figyelmet kell fordítanunk rá.

A dinamikus paraméterek identifikációjának lehetősége

A Nantes-i IRCCyN intézet robotika csoportjának munkatársai az alábbiakban taglalt módszert használják a robotok dinamikus inercia-paramétereinek zárt hurkú identifikációjához [6]. Ez az elv az elágazás nélküli robotkarokra alkalmazható, de egy csekély módosítással a mobil platformok esetében is használható.

Az alapötletük az, hogy a robot állapotteréből és annak deriváltjaiból meghatározzák az általános dinamikus modell inverzének használatával a csuklók és szervók szabályzóinak bemenetét. Ehhez a csuklók adatait (pozíció és sebesség) mintavételezik, miközben a robot az előírt pályán mozog. Ezekből a kívánt specifikus paraméterek a legkisebb négyzetösszeg (LS) elv szerint lineáris módon megkaphatók.

Az alábbiakban foglaljuk össze az itt folyó munkálatokat:

- nyílt láncú elágazásmentes, valamint fa-struktúrájú robotok inercia-paramétereinek identifikálásához szükséges szimbolikus módszerek kifejlesztése

- a QR és SVD faktorizációkon alapuló numerikus közelítések alkalmazása
- energia-alapú modell használata, mely csak a csuklópozícióktól és sebességektől függ, így a gyorsulás mérése- és számítása nem szükséges
- az energia-alapú modellhez próba trajektóriák keresése, melyek a módszer helyességét igazolni hivatottak
- Matlab alapú kalkulációk használata a súlyozott LS módszert alkalmazva

Az elméleti eredmények a gyakorlatban az SR-400, CEA RACE, CEA-RD500 és az CEA-RX90 robotokon történt mérésekkel igazolódtak. (Itt a „CEA” rövidítés feloldása: „Commissariat à l'Energie Atomique”).

KAPCSOLAT A TANSZÉKI KUTATÁSOKHOZ

A robotikai kutatásokat folytató MoMic csoport a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Irányítástechnika és Informatika Tanszékén alakult sok évvel ezelőtt. A még ma is futó LABRador (Landmark Based Random Deflected Optical Rangefinder) project kezdeti célja egy marker bázisú pozíció-meghatározó eszköz kifejlesztése volt. A fejlesztés 2001. év őszén érvényes állapota szükségessé tette egy olyan robot-szimulátor kifejlesztését, amely lehetővé teszi azt, hogy ennek a mérőeszköznek a virtuális változatát különböző teszt körülmények között kipróbálhassuk, ugyanis akkor ez fizikailag nem volt megoldható a műszer nagy súlya és mérete miatt. A GLBot szimulátor első használható változata a 2003-as év tavaszára készült el értékelhetően, és már akkor felmerültek a továbbfejlesztési lehetőségek a teleoperáció és a dinamikus modellezés felé.

Elsődleges szempont egy nyílt szimulációs környezet megteremtése, melyben a felhasználó szeparáltan tudja modellezni a rendszer egyes komponenseit, de mindvégig szem előtt tartva azok egységbe tartozását. Lehetővé tesszük, hogy a számára leginkább érdekes területekre fókuszáljon azáltal, hogy kívánsága szerint a többi területet rábízhatja a szimulációs rendszerre. A specifikációink szerint a rendszer egyes elemeit úgy alakítjuk ki, hogy helyettesíthetők legyenek fizikai ágensekkel, célhardverrel is.

A három fő komponens: érzékelés, feldolgozás és beavatkozás mind úgy lett tervezve, hogy a szimulátor szemszögéből nézve külső (távoli) eszközök azonos módon viselkedjenek, mint a lokális, beépített funkciók. A rendszer elemei egy általunk kialakított 3 rétegű interfészen kommunikálnak majd, melyből a középső teszi lehetővé az egységes, szabványos elérést mind a lokális számítógépről (melyen a szimulátor program fut), mind a távoli (az Interneten keresztül elérhető) gépről a megfelelő protokollok közbeiktatásával. Ha a beavatkozás, mint önálló főmodul egy távoli gépen történik, akkor beszélhetünk a **teleoperációról**, mely esetben a szakértő vezérlőt kiválthatja a felhasználó által írt szoftver a feldolgozó modulba integrálva.

A felhasználót tehermentesítő célzattal megalkotásra kerül egy többszintű szenzor-hierarchia a szimulátorban, így lehetővé téve a magas szintű, gyors, lényegre törő fejlesztést, vagy éppen egy bizonyos komponens alacsony szintekig leásva történő kioptimalizálását. Példaként felhozva a CCD kamera, mint egy

lehetséges szenzor esetét: ha az általa szolgáltatott képet a képpontok 2 dimenziós tömbjének tekintjük, akkor nekünk magunknak kell megírni – a feldolgozó egységre több terhet róva – a kép információ-tartalmát kiértékelő rutinokat alacsonyabb szinten, míg egy magas szintű szenzor-kiolvasás jobban tehermentesít bennünket, melynek kapcsán így jobban koncentrálhatunk a navigációs algoritmusunk további pontjaira.

Második szempontunk szerint az egyelőre egyszerű kinematikus modellünket szeretnénk leváltani a valósághoz közelebbi eredményeket adó, de természetesen bonyolultabb dinamikus modellre. Ha létező mobil eszközök viselkedését szeretnénk így szimulálni, akkor azokról számos, többnyire csak indirekt módszerekkel mérhető paramétert kell ismernünk. Itt jön számításba a **modell identifikáció**, mely jó közelítéssel megadja ezeket az értékeket azokból a paraméterekből, melyeket képesek vagyunk egyszerűen megmérni. Ha jól tudjuk becsülni ezeket a fizikai paramétereket az ismert, mért adatokból, akkor kijelenthetjük, hogy a szimulátorban végrehajtott cselekvések jó közelítéssel meg fognak egyezni akkor, ha ugyanezt a navigációs algoritmust később egy fizikai robotra ültetjük át.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Itt szeretném megköszönni az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok alapítványnak [7] és az Európai Unió „CLAWAR (CLimbing And Walking Robots) Research Training Network” hálózatának [8] a kutatásaimban nyújtott segítségüket.

REFERENCIÁK

- [1] **NASA Space Telerobotics Program:**
http://ranier.hq.nasa.gov/telerobotics_page/telerobotics.shtm
- [2] **Christner, J.H.; Miller, J.H.:** “*Pioneer Unmanned Air Vehicle supports air operations in Operation Desert Storm*”, Proc. 9th International Conference on Remotely Piloted Vehicles, Bristol, 1991.
- [3] **Harris, S.J.; Arambula-Cosio, F.; Mei, Q.; Hibberd, R.D.; Davies, B.L.; Wickham, J.E.; Nathan, M.S.; Kundu, B.:** “*The Probot – an active robot for prostate resection*”, Journal of Engineering in Medicine, Vol. 211, No. 4, 1997, pp 317-325
- [4] **Graves, R.; Czarnecki, C.:** “*A generic control architecture for telerobotics*”, Proc. TIMR99: Towards Intelligent Mobile Robots, Bristol, 1999.
- [5] **Carmena, P.; Avello A.; Rubio, A.:** “*Telerobotics Maintenance of Nuclear Power Plants*”, Proc. Nuclear Plant Journal, March, 2002.
- [6] **Institut de Recherche en Communications et en Cybernétique de Nantes (IRCCyN):**
<http://www.irccyn.ec-nantes.fr/irccyn/d/en/equipes/Robotique>
- [7] **Laboratoire de Robotique de Paris:** <http://lrp6.robot.jussieu.fr/eng/publication.html>

- [7] **Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok:** „Autonóm robotok korszerű irányításméleteinek, navigációjának és intelligenciájának kutatása”, T0426340OTKA, <http://www.otka.hu>
- [8] **CLAWAR - Climbing And Walking Robots – Research Training Network**, G1RT-CT-2002-05080, <http://www.clawar.com>