

Mikromanipulátorok teleoperációs alkalmazása biotechnológiai kutatásokban

Urbanecsek Tamás, IV. évf. villamosmérnök hallgató;

Lassó András, V. évf. villamosmérnök hallgató;

Konzulens: Dr. Vajta László, BME Irányítástechnika és Informatika Tanszék

Három napjainkban dinamikusán fejlődő tudományterület, a teleoperáció, a mikrorobotika és a biotechnológia legújabb eredményeinek integrációjából született az a rendszer, melynek tervezését, megvalósítását és egy valós kísérletben való alkalmazásának tapasztalatait foglaljuk össze cikkünkben.

Az emberi munkának automatikus berendezésekkel helyettesítését kétféle ok indokolhatja: megfelelő gépek alkalmazásával a munka hatékonyabban végezhető el, vagy a tevékenységet gépekkel vagyunk kénytelenek elvégeztetni (például a veszélyes környezet, szűk hely, nagy távolság miatt). Ha azonban a feladat bonyolultsága miatt, vagy váratlan események kezelésére nem alkalmazhatunk teljesen autonóm rendszert, távoli emberi beavatkozás lehetőségét kell biztosítanunk. Ezt a kérdéskört vizsgálja a teleoperáció tudományterülete.

Az általunk fejlesztett tele-mikrorobotikai rendszer elsősorban biotechnológiai feladatok megoldására készült, a témában folyó kutatómunka biztonságos, olcsó és rugalmas elvégzésére. A biztonságos működést a távolról irányítás teszi lehetővé, illetve ezt szolgálja az alkalmazott eszközök intelligenciája (ezek rendkívüli helyzetekben képesek önállóan is működni). Rendszerünk biztosítja a mikrorobot munkaterületének távolról megfigyelését, és a robot irányítását Internet hálózaton át. A speciális hardver eszközök működtetését, összekapcsolását és a hálózati kommunikációt saját fejlesztésű szoftvereink végzik.

1. Bevezetés

A BME Irányítástechnika és Informatika tanszékén folyó MINIMAN mikrorobot fejlesztési projekt célja egy olyan univerzális, intelligens, távolról is irányítható mikromanipulációs munkacella létrehozása, amely alkalmas kutatási feladatok elvégzésére, különösen a biotechnológia területén. Ebben a témában folytatott kutatásaink során munkánk céljaként egy Interneten keresztül irányítható rendszer globális tervének kidolgozását, és egy működő prototípus létrehozását tűztük ki. Cikkünkben rövid áttekintést adunk az érintett tudományterületekről, majd bemutatjuk a megvalósított rendszer hardver- és szoftverelemeit, a megvalósításkor valamint az alkalmazás közben felmerült problémákat és megoldásaikat.

1.1. Telerobotika

A telerobotika egyike napjaink legkutatottabb, legdinamikusabban fejlődő területeinek. Ez talán nem is csoda, hiszen egy távolról irányítható manipulációs munkaállomás alkalmazási területek százain nyújthat nagy segítséget. A NASA telerobotikai programjának célkitűzése szerint 2004-re a világűrben az összes űrhajón kívüli tevékenység 50%-át telerobotikai úton fogják elvégezni. [NASA] A telerobotikával lehetővé válik, hogy egy nagy tapasztalatú orvos

a világ bármely pontjáról egy akár ezer kilométerrel odébb fekvő páciensen is segíthessen, vagy egy veszélyes rendőrségi akció emberélet kockáztatása nélkül lebonyolítható legyen, esetleg a Titanic több ezer méteres mélységben heverő roncsai között kincsek után kutathassunk...

De mi is az a telerobot? Egy olyan intelligens, ember által távolról irányítható robot, amely kiterjeszti az ember érzékelő és beavatkozó képességeit egy tőle távol fekvő területre. A lényeges különbség az ipari robotok és a telerobotok között az elvégzendő munka jellegében rejlik: az ipari robotok sokszor ismétlődően hajtják végre ugyanazt a feladatot, jól meghatározott környezetben, sebességgel, pontossággal, megjósolható eredménnyel. Az emberi teleoperációban ezzel szemben a robotot távolról vezérlő személyé a legfőbb irányítói szerep. A robot szenzorai által küldött információk segítségével a kezelő személy a robot által, emberi képességeinek megfelelően végzi el a beavatkozásokat.

Miért kell egy robotot távirányítani? Azért mert az utóbbi évtizedekben a robotokkal foglalkozó kutatók felismerték, hogy a legtöbb feladatra nagyon nehéz teljesen önállóan működő robotokat készíteni. A telerobotika módszerei azonban lehetővé teszik, hogy a robot elvégezzen egyszerűbb részfeladatokat és kérje a felügyelő személy segítségét, ha valami nehézsége támad. A folyamatos kutatások eredményeként egyre több és egyre bonyolultabb feladatot lesznek képesek megoldani a robotok teljesen önállóan, ám a telerobotikának addig is, és azután is igen jelentős alkalmazási területei maradnak ([Car96, Fri98]). Ezek a következők:

- A. *Emberi tevékenység szükséges, vagy nem akarjuk kiváltani azt mesterséges eszközökkel.* Ha például egy összetett munkafolyamat során kevés számú ismétlődés lép fel, a környezet pedig változó és ismeretlen lehet, célszerűbb emberi felügyeleti irányítást alkalmazni, hiszen szükség van az emberi intelligenciára, felismerőkészségre, rugalmasságra. Bizonyos helyzetekben pedig éppen az emberi részvétel a lényege a tevékenységnek – például „személyes” találkozók megvalósításakor vagy szórakoztatás esetén.
- B. *Ember valamilyen ok miatt közvetlenül nem végezheti el a feladatot.* Ilyen okok lehetnek:
 - Életveszélyes vagy egészségre ártalmas környezet
 - Nem emberi léptékű feladat (nagy méretek, erőkifejtés)
 - Nagy pontosság igénye
 - Túl drága vagy időigényes lenne az ember helyszínre szállítása
 - Környezet számára ártalmas az emberi jelenlét

1.2. Mikrorobotika

A mikrorobot megnevezés a szakirodalomban kétféle értelemben is használatos. Tágabb értelemben arra utal, hogy ezeknek a robotoknak mind a mérete, mind az akciótere, mind pedig a pozicionálási felbontása kisebb, mint az általunk eddig "megszokott", például ipari robotoknak. Szűkebb értelemben véve pedig a mikrorobot a néhány mikrométer nagyságrendű manipulációt lehetővé tévő robotok osztályát jelöli. A mikrorobot kifejezést cikkünkben ezentúl az utóbbi értelmében használjuk.

Ezeknél a robotoknál már a hagyományos elveken alapuló érzékelő- és mozgató-berendezések nem alkalmazhatóak. Tervezésük és működtetésük során számolnunk kell azokkal a mikrojelenségekkel, amelyek a makrovilágban egyébként elhanyagolhatóak (felületi feszültség, adhéziós és kohéziós jelenségek). Pozíciójuk pontos érzékeléséhez külső szenzorokat, pl. mikroszkópra szerelt kamerát, vagy lézeres távolságmérőt használnak.

A technológia fejlődésével a mikrorobotika előtt egyre szélesebb alkalmazási területek nyílnak meg. Az iparban főleg szerelési munkálatok elvégzésére fejlesztenek mikrogyártósorokat; a kémiában, a gyógyszergyártásban és a biotechnológiában pedig mikrorobotok végezhetik kis mennyiségű anyagok megfelelő helyre juttatását.

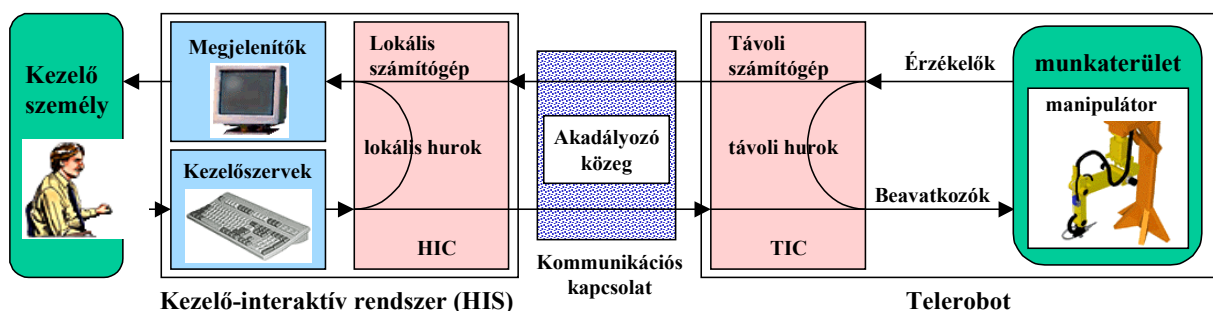
1.3. Robotok a biotechnológiában

A biotechnológia a biológiai és műszaki tudományok összefonódásából jött létre. Összefoglaló neve mindazon területeknek, amelyekben élő szervezeteket, azok részeit, vagy az azokban lezajló folyamatokat használnak fel hasznos anyagok, információk, esetleg más élő szervezetek előállítására. Ilyen terület például virológia és a genetika is.

A biotechnológiai alkalmazások gyakran igényelnek pontos mechanikai beavatkozást. Ennek nagyságrendje a néhány mikrométertől a milliméteres nagyságrendig terjed. Egy ebben a tartományban pozícionálható, intelligens, tanítható, megbízható mikrorobot nagy mértékben meggyorsíthatja a munkát, legyen szó akár mesterséges megtermékenyítésről, egy vírustenyészet gondozásáról, vagy akár egy DNS lánc azonosításáról. [Fal98]

2. Telerobotikai rendszer megvalósítása

A telerobotikai rendszerek alapját az emberi felügyeleti irányítás általános modellje adja. Az alábbi ábra egy telerobotikai rendszer felépítését szemlélteti.



1. ábra: Telerobotikai rendszerek általános felépítése [She92]

A kezelő személy a rendszerrel felhasználói felületen keresztül érintkezik, amely a kezelő-interaktív rendszer (Human-Interactive System - HIS) része. Az általa küldött parancsok a kommunikációs kapcsolaton keresztül jutnak el a telerobotig, melynek érzékelői által szolgáltatott és feldolgozott jelek adnak hírt a parancs hatásáról a felhasználónak, a kommunikációs csatornán és a megjelenítőkön keresztül.

A kommunikációs csatorna a legtöbb telerobotikai alkalmazásban nem elhanyagolható késleltetéssel és csak korlátozott sávszélességgel képes az adatokat továbbítani. Mivel konkrét rendszerünket Internetre tervezzük, amelynek kellemetlen tulajdonsága a viszonylag nagy és ráadásul dinamikusan változó holtidő, így a közvetlen távirányítás lehetősége gyakorlatilag kizárt: az embert és a holtidős kommunikációs csatornát is magába foglaló zárt szabályozási kör elfogadhatatlanul lassú lesz (egyszerű feladatok elvégzése is hosszú időbe telhet, ugyanis az instabilitás elkerülésére a kezelő személy általában a „move and wait” stratégiához folyamodik: beavatkozik, majd megvárja, amíg a művelet végrehajtásának eredményéről szóló információk megérkeznek).

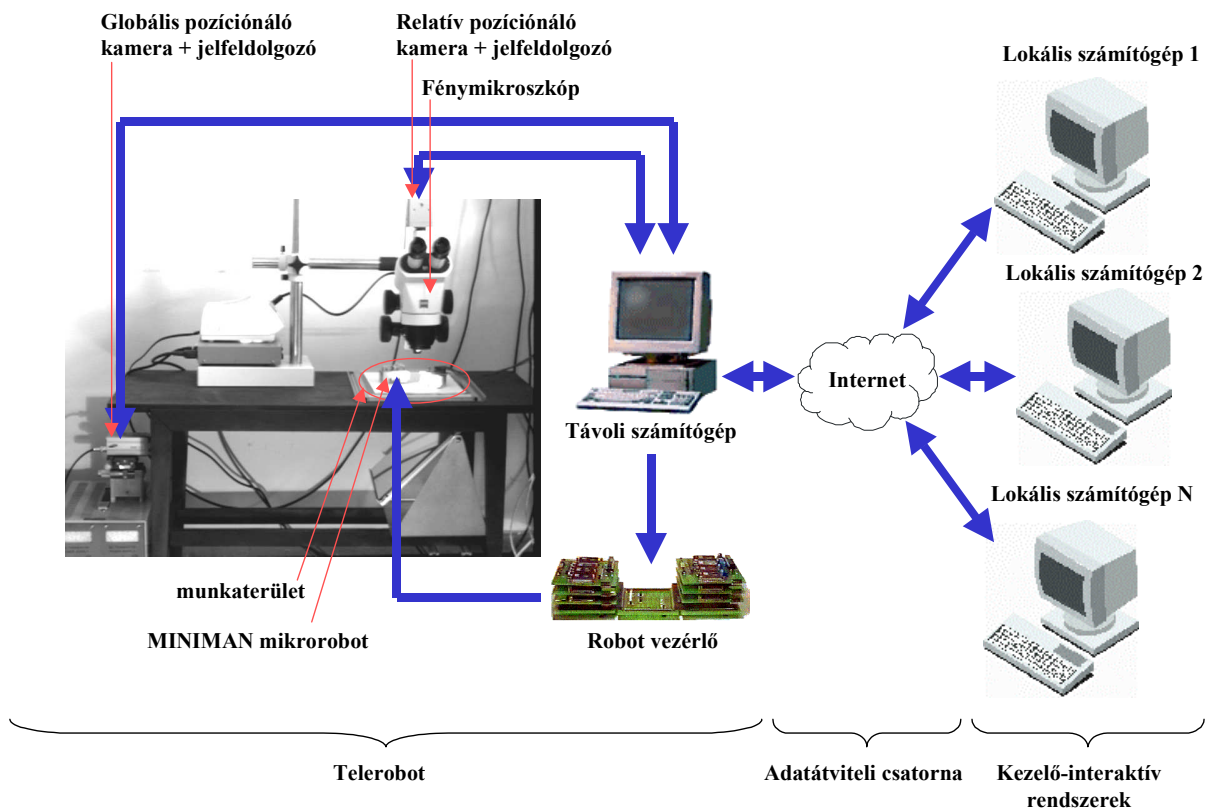
Ez a komoly szabályozástechnikai probléma két további visszacsatoló hurok beiktatásával oldható meg.

Az ún. távoli hurok egy olyan intelligens szabályzó kör, amely váratlan események bekövetkeztével a megfelelő gyors reagálásért, valamint a kommunikációs kapcsolat ideiglenes kiesése esetén a robot autonóm mozgásáért felelős. Az így már bizonyos autonómiával rendelkező telerobotot kezelő személynek a feladata széles skálán megválasztható (lehetőségek szerinti közvetlen irányítástól a stratégiai szintig), magasabb szintű irányítás.

A lokális hurok ergonómiai visszacsatolás a kezelő személy felé, amely gondoskodik a parancsok kiadásának, illetve a várható hatásának azonnali visszajelzéséről, lehetővé téve ezzel a kommunikációs kapcsolattól független folyamatos munkát.

Az általunk tervezett rendszer ezt a felépítést követi.

2.1. A telerobot



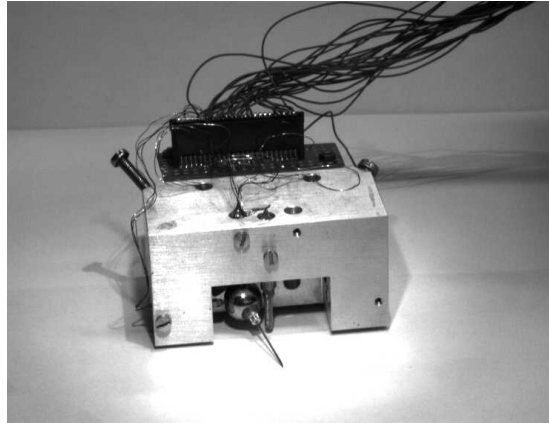
2. ábra: A tele-mikrorobotikai rendszerünk felépítése

A telerobot legfontosabb részei a manipulátor, az érzékelőrendszer, valamint a távoli számítógép.

Manipulátorként a tanszéken folyó nemzetközi projekt keretében kifejlesztésre került MINIMAN mikrorobotot alkalmaztuk. A távoli számítógép megválasztásakor a megbízhatóság, teljesítmény, költségek, beszerezhetőség, hardver és szoftver támogatottság szempontjainak figyelembe vétele alapján egy egyszerű *IBM PC-kompatibilis számítógép* mellett döntöttünk (Pentium osztályú processzorral, és megfelelő perifériaillesztőkkel ellátva). A szenzorrendszer szerepét két jelfeldolgozó processzorral ellátott intelligens kamera tölti be.

2.1.1. A telerobot manipulátora, a MINIMAN mikrorobot

Mikrorobotunk első prototípusát nemzetközi kutatási projekt keretében fejlesztették ki 1996-ban a Karlsruhei Egyetem Folyamatszabályozási és Robotika Intézetével együttműködve. [IPR]



3. ábra: A MINIMAN mikrorobot

A robottest egy 30x30x60 mm élhosszúságú tömör alumíniumhasáb, amely három piezokristályból készült lábbon áll. Az elülső láb mellett helyezkedik el a beavatkozószer (kar), amely egy acélgolyóhoz, mint gömbcsuklóhoz rögzített orvosi injekcióstű. A robot lábainak mozgása az inverz-piezohatáson alapszik. Ha a lábakon kialakított elektródákra megfelelő feszültséget kapcsolunk, a lábak kissé elhajlanak. Az elhajlás mértéke és iránya a lábankénti négy elektródapárra kapcsolt feszültség nagyságától függ.

A robot úgynevezett „tapadó-csúszó” („Stick-and-Slip”) elven végzi a mozgását. A robotlábakra fűrészjel alakú, 150 V amplitúdójú jelet adunk. Ennek hatására a lábak a kívánt irányban lassan meghajlanak, a robottest pedig a tapadási súrlódásnak köszönhetően az elhajlás mértékében a megfelelő irányba mozdul. A lassú elhajlás után a láb hirtelen visszaugrik kiindulási helyzetébe, olyan sebességgel, hogy a robottest gyakorlatilag helyben marad, a láb pedig csúszik a talajon. A robot egy ilyen lépéssel néhány mikrométer távolságot tesz meg, a folyamatos haladás során ezt másodpercenként sokezerszer ismétli.

A beavatkozószer mozgatása is hasonló elven történik. Amint az ábrán is látható, a robot karja gömbízülettel kapcsolódik a robottesthez, s az ízületet ugyanolyan piezolábak hajtják, mint a robottestet. A mozgó acélgömböt egy erős mágnes húzza a lábak felé.

A mikrorobot közvetlen vezérléséért, valamint a központi számítógép felé magas szintű felhasználói felület nyújtásáért egy párhuzamos mikrokontroller rendszer felelős. A vezérlőegység feladatai: a központi számítógép parancsainak fogadása párhuzamos porton keresztül, MINIMAN lábaira kerülő feszültség szintek előállítás, és státuszinformáció szolgáltatása soros porton keresztül az értelmezett és végrehajtott parancsokról.

A számítógép által a központi mikrokontroller kártyának küldhető parancsok segítségével beállítható a mikrorobot lábainak rezgési frekvenciája, amplitúdója és iránya, valamint lehetőségünk van a robot által megteendő lépések számának megadására is.

2.1.2. A telerobot szenzorrendszere

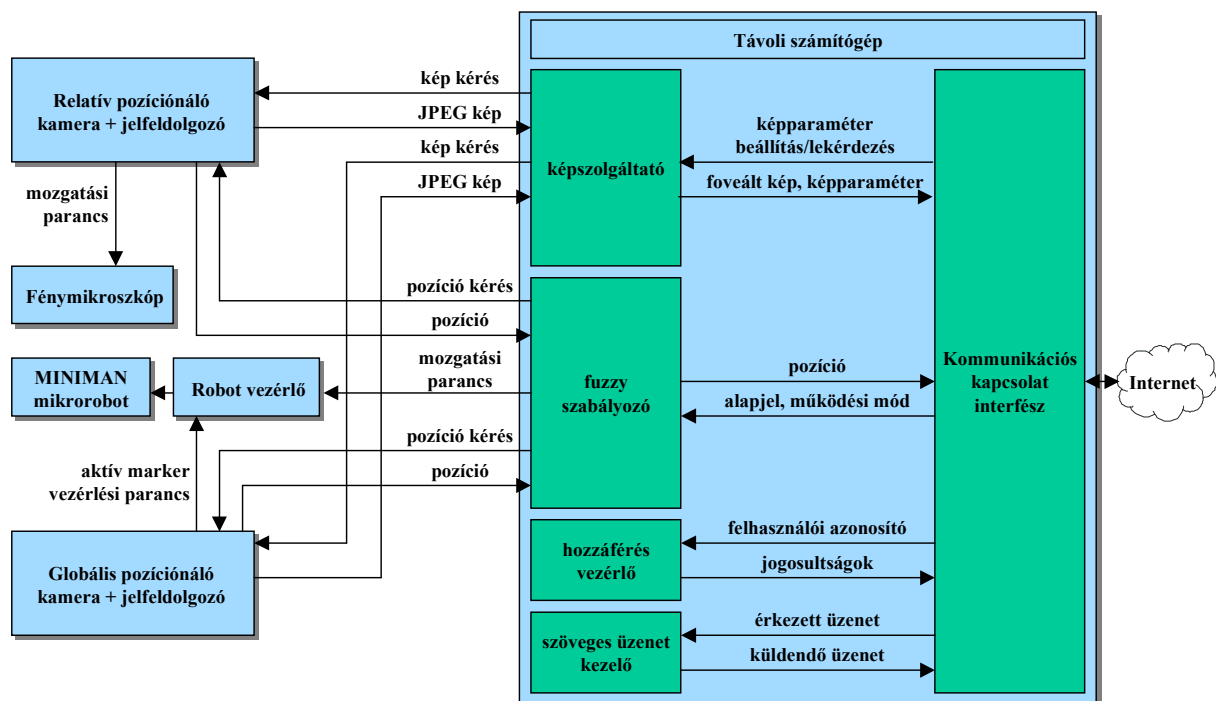
A MINIMAN munkaterülete egy 200x300mm-es üveglemez. A szenzorrendszer feladata, hogy ezen – a robot pontosságához képesti – nagy méretű területen a robottest és -kar helyzetének meghatározása mikrométeres pontossággal. Ehhez érintkezésmentes külső érzékelőket választottunk: két videokamerát alkalmaztunk; az egyik a teljes munkaterületet

átlátja, globális kép és robotpozíció szolgáltatásáért felelős, míg a másik egy mikroszkópon keresztül egy kisebb területet figyel, és itt biztosítja a mikrométeres pontosságot (ez a kialakítás jól illeszkedik a tipikus „nagy méretű tárolóból anyag felvétele, és nagy pontosságú célba juttatása” feladathoz, illetve a kamera mozgásával a nagy pontosságú pozícionálhatóság a munkaterület tetszőleges részén biztosítható). Mindkét kamera egy PC-hez csatlakozik, amely a telerobotikai rendszerünkben a „távoli számítógép” (Task Interactive Computer - TIC) szerepét tölti be.

A rendszer hatékonyságának növelése érdekében a *Vision Components* cég *VC11* típusú intelligens kameráit alkalmaztuk, melyet kifejezetten valós-idejű képfeldolgozási feladatokhoz fejlesztettek ki. Ezekbe a kamerákba a gyártók egy Analog Devices ADSP 2181 típusú jelfeldolgozó processzort integráltak. A pozíciók meghatározása így a kamerákon belül megvalósítható, ezzel tehermentesíthető a távoli számítógép, és képátvitelt biztosító szélessávú kapcsolat soros vonallal helyettesíthető amelyen keresztül a kamera csak a képfeldolgozási algoritmus eredményét közli (de szükség szerint ezen a vonalon képek vagy képrészletek is továbbíthatóak).

2.1.3. A telerobot működése

A telerobot működését alapvetően a manipulátorral, az érzékelőkkel és a kezelő-interaktív rendszerekkel kapcsolatot tartó *távoli számítógép* határozza meg (4. ábra).



4. ábra: A telerobot és a távoli számítógépen futó szoftver működésének blokkvázlata

A telerobotot működtető szoftvert Windows NT operációs rendszer alá fejlesztettük ki, Visual C++ 6.0 programnyelv felhasználásával. A program öt alapvető funkció ellátása szerint a következő modulokra osztható: képszoftigáltató, fuzzy szabályozó, hozzáférés-vezérlő, szöveges üzenet kezelő és kommunikációs kapcsolat interfész.

A *képszoftigáltató* modul rutinjai a beállított képfrissítési gyakoriságnak megfelelő időközönként aktiválódnak. Ekkor kerül sor a munkaterületről készült képek felvételére, és soros vonalon keresztüli továbbítására. A soros vonalak kezelése a program működésével átlapoltan zajlik, a 32 bites Windows rendszerek (Win32) által nyújtott kommunikációs

alapszolgáltatások igénybe vételével [Den95]. A képeket a modul a kommunikációs kapcsolat interfésznek továbbítja.

A *fuzzy szabályozó* implementálása jelenleg folyik. A modul feladata a kamerától pozíció adatok kérése és ennek alapján a manipulátor mozgatása a kezelő útmutatásai szerint, a robotvezérlőnek küldött parancsok által. A robotvezérlőnek a megfelelő parancsokat közvetlenül, a nyomtatókezelő megkerülésével küldjük el a párhuzamos vonalon [MSD98]. A modul továbbá megállapítja a pontosnak tekintendő pozíció értékeket a kamerák erre vonatkozó mérési eredményeinek összevetéséből; és ezeket továbbítja a kommunikációs kapcsolat interfésznek.

A *hozzáférés vezérlő* gondoskodik arról, hogy csak érvényes felhasználói azonosítóval rendelkező személy használhassa a telerobotot; a *szöveges üzenet kezelő* pedig egyszerűen elküldi az egyes kezelő személyek által beírt üzeneteket az összes telerobothoz csatlakozott kezelőnek a kommunikációs kapcsolat interfész szolgáltatásain keresztül.

A *kommunikációs kapcsolat interfész* feladata a kezelő-interaktív rendszerektől érkező parancsok megfelelő moduloknak való továbbítása, illetve a modulok által szolgáltatott információk kezelő-interaktív rendszerekhez való eljuttatása. A hálózati kommunikációt a sok platformon támogatott, megbízható TCP socket architektúrával valósítottuk meg.

2.1.4. A mikrorobot pozíciójának meghatározása DSP kamerával

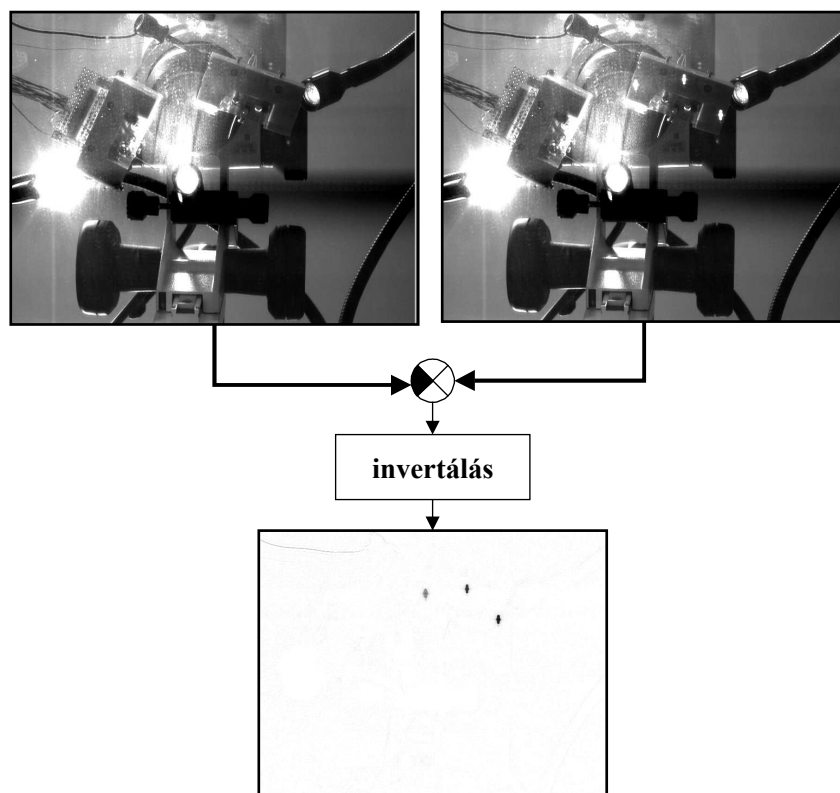
Ahhoz, hogy a mikrorobot bármilyen szintű önálló tevékenységet megbízhatóan tudjon végezni, irányítórendszere számára a munkaterület pillanatnyi állapotát leíró visszacsatoló információt kell biztosítani.

Az irányításhoz szükséges legfontosabb információk: a mikrorobot és a munkaterület többi objektumának

- abszolút pozíciója (mérsékelt pontossági követelményekkel)
- egymáshoz képesti relatív pozíciója, nagy pontossággal (esetünkben ez a néhány mikrométeres nagyságrend)

A robottest pozíciójának meghatározását a munkaterületen *aktív markerek* segítségével végezzük el. A *marker* olyan jellegzetes tárgy, amelynek helye egyszerűen meghatározható, mert speciálisan úgy készült, hogy könnyen megkülönböztethető legyen a környezetben lévő összes többi objektumtól. Az *aktív* szó arra utal, hogy ezt a tulajdonságát a marker valamilyen aktív működés végzésével éri el. A legelterjedtebben ilyen célra koncentrált fényforrásokat alkalmaznak. Ezt a módszert választottuk mi is: mikrorobotunk testére markerekként három világító LED diódát rögzítettünk. A mivel a három marker a robothoz képest sosem mozdulhat el, ezért ha ismerjük a jelölők pozícióját, ebből egyértelműen meg tudjuk határozni a robottest pozícióját.

A pozíciót a következőképpen nyerjük: egy kép helyett kettőt készítünk gyors egymásutánban, úgy, hogy az első képen világítanak a LED-ek, de a második kép felvétele előtt kikapcsoljuk őket, akkor a két kép elvileg csak a markerek helyén tér el egymástól. A két képet egymásból kivonva a markerek helye könnyen megállapítható. Ezt az eljárást szemlélteti az 5. ábra.



5. ábra: Világító és kikapcsolt markerek mellett készített két kép között különbség csak a markereket helyén jelentkezik

A mikroszkópon keresztüli kamerakép alapján igen pontos adatokat nyerhetünk ki a robot és különféle egyéb objektumok relatív helyzetéről. Ehhez a feladathoz is használhatunk markereket vagy különféle képértelmezési eljárásokat az adott alkalmazás függvényében.

2.2. A kommunikációs kapcsolat

2.2.1. Az adatátvitel módjának megválasztása

Az Interneten lehetőség van különféle szállítási protokollok segítségével az adatokat különböző megbízhatósággal és sebességgel továbbítani. A kettő rendszerint csak egymás rovására növelhető. Rendszerünk megvalósítása során a lehető legmegbízhatóbb átvitel mellett döntöttünk, a megfelelő sebesség elérése érdekében pedig nagy figyelmet fordítunk az átküldendő adatok megválasztására és jól kézbentartható tömörítési eljárásokat alkalmazunk.

Az adatátviteli kapcsolat forgalmának túlnyomó részét a telerobot munkaterületéről érkező vizuális visszacsatolás (képek küldése) teszi ki. Az átvitel optimalizálásakor ezért kiemelt figyelmet kell szentelni a hatékony képátvitel megvalósításának.

Adott átviteli kapcsolat tulajdonságok mellett, a képátvitel sebessége a feldolgozási idő és az átviendő adatok mennyiségének csökkentésével javítható. Olyan algoritmusra van tehát szükségünk, amely a kódoláshoz/dekódoláshoz nem igényel túl sok számítást, valamint amelynél a tömörítés mértéke a minőséggel szemben paraméterezhető. Az ingyenes forráskódú JPEG algoritmus mellett döntöttünk, amellyel így akár 10-20:1 tömörítési arányt is el tudtunk érni képkockánként.

Az átviendő adatok további csökkentését változó felbontású technikával értük el. A változó felbontású technika azon az elven alapul, hogy egy képnek különböző fontosságú területei

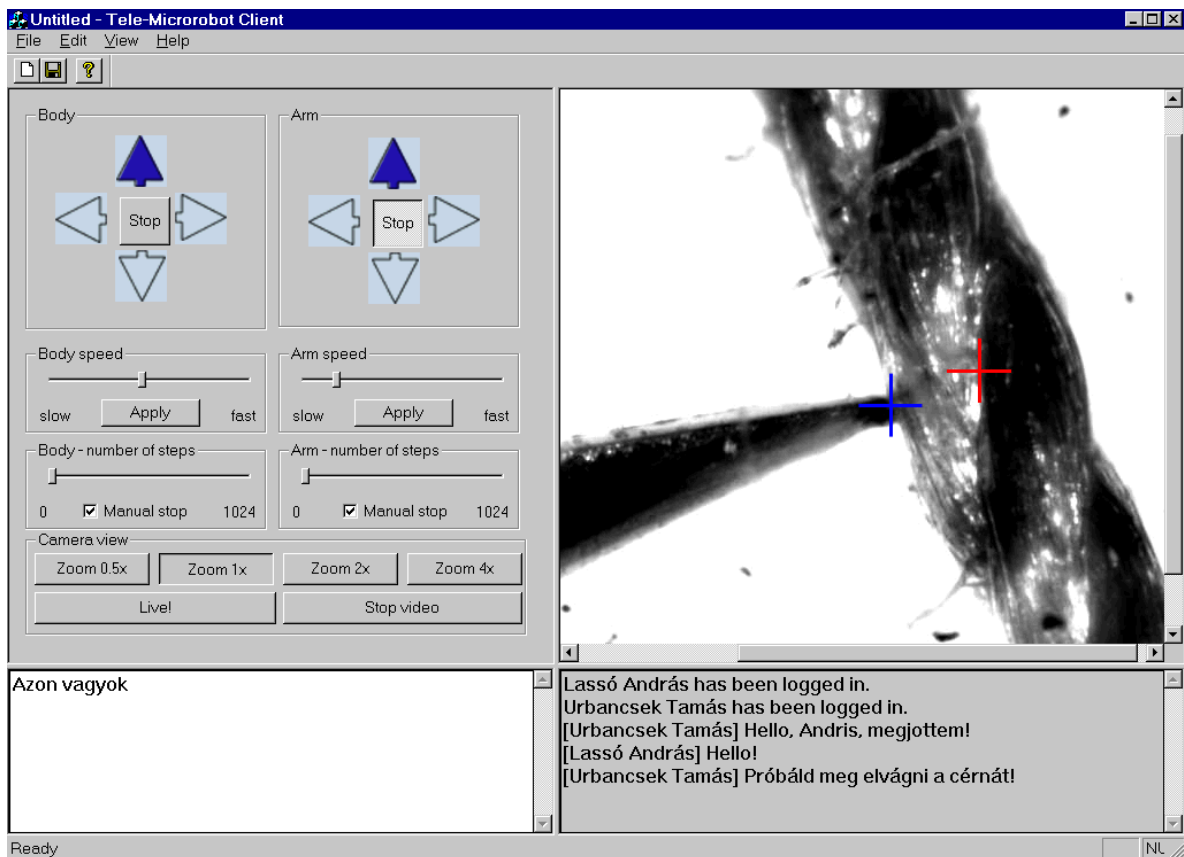
vannak, és a kevésbé fontos „periférikus” területeket elég alacsonyabb felbontásban látunk. A fontosabb részeket az algoritmus részletgazdagabban, nagyobb felbontással, míg a kevésbé fontosakat kisebb felbontással kódolja. [Gei98] [Gei99] Az algoritmus nagy előnye, hogy mivel a kódolás eredménye több független kép, ez továbbítás előtt JPEG algoritmussal tömöríthető. Az így kapott algoritmus egyesíti a két módszer előnyeit és kivételesen jól konfigurálható és jó hatásfokú tömörítési módszerhez jutunk.

Döntéseinket kísérleti eredményeink is igazolták, ugyanis az MPEG tömörítésű mozgóképek Internet hálózaton elérhető néhány kép / másodperces képfrissítési frekvenciáját el tudtuk érni változó felbontású képek JPEG kódolásának alkalmazásával, jóval kisebb számítási kapacitás és jobb paramétereizhetőség mellett.

2.3. A kezelő-interaktív rendszer

A kezelő-interaktív rendszer hardver követelményeit úgy választottuk meg, hogy a telerobot által nyújtott lehetőségeket maximálisan ki tudjuk használni, de ne szűkítsük le a felhasználók körét túlzottan magas igények támasztásával. Mivel minden felhasználónak saját kezelőfelületet kell létrehozni, így szoftver megoldásokat kerestünk a speciális hardver eszközök helyett. Egy átlagos IBM PC-kompatibilis számítógép Pentium processzorral Windows NT operációs rendszerrel már képes a szükséges teljesítmény nyújtására.

Visual C++ 6.0-ban megírtuk a telerobotot működtető szoftvert, amellyel a fent ismertetett kísérleti prototípus minden képessége kihasználható. Az alábbi ábrán látható az általunk készített szoftver felhasználói felülete. A programmal lehetőségünk van a robottestet és a kart a kívánt irányba, kívánt sebességgel és lépésszámmal mozgatni, a kamerakép zoomolására, valamint a többi bejelentkezett felhasználóval szöveges kapcsolattartásra.



6. ábra: A kezelő-interaktív rendszer felhasználói felülete

Külön dialógusdobozban lehetőség van a munkaterületről érkező képek minőségi paramétereinek beállítására. (a változó felbontás tömörítési rátái, az érdeklődés helye, a frissítési frekvencia)

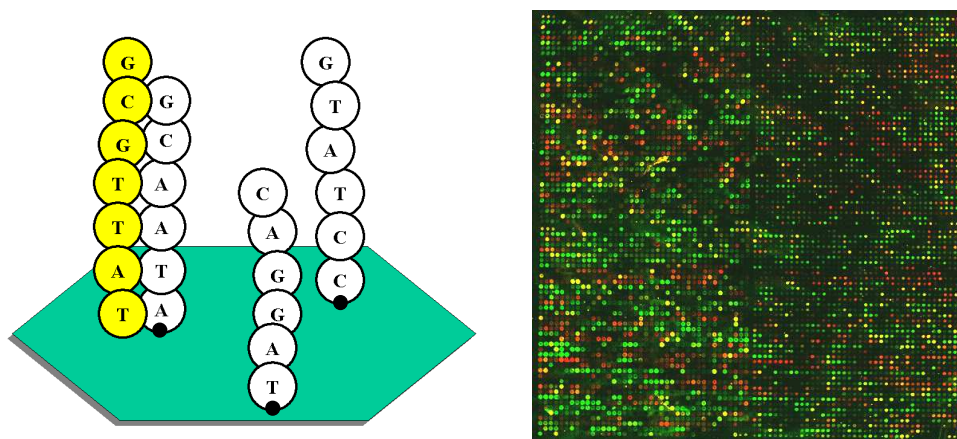
3. Gyakorlati alkalmazás

A MINIMAN projekt célja egy elsősorban biotechnológiai kutatásokra alkalmas tele-mikrorobotikai rendszer létrehozása volt. A több lehetséges alkalmazás közül kiemelkedik a SOTE Genetikai, Sejt- és Immunbiológiai Intézettel tervezett közös kísérletsorozat, melynek kapcsán lehetőség nyílik az előző fejezetben tárgyalt megvalósított rendszerünk kiterjedt tesztelésének.

3.1. A DNS-chip [Fal98]

Az elmúlt években elterjedőben lévő új DNS technológia, a DNS (gén)-chip eljárás hatalmas technikai előrelépést jelent a genetikai azonosítás gyors és automatizálható kivitelezésében. Az azonosítási eljárás azon alapul, hogy egy stabil DNS kettős láncát alkotó szemközti nukleotidok szükségképpen egymás komplementerei.

Az azonosítási eljárás úgy zajlik, hogy rendelkezésünkre áll egy eszköz, melynek parányi felületéhez (membránjához) ismert összetételű, azonos hosszúságú, egyszálú DNS-láncok vannak kötve általunk ismert elrendezésben. Ez a DNS-chip. A vizsgálni kívánt ismeretlen nukleotid sorrendű DNS-darabka két szála melegítés hatására kettéválik. Az egyiket megjelöljük (például fluoreszkáló festékkel), majd egy pontos mikromanipulátorral a membránra helyezünk. Egy mikroszkópra szerelt kamerával figyeljük a folyamatot, és leolvassuk, hogy a DNS-szál milyen koordinátájú másik DNS-hez kötődött hozzá. A reakciók koordinátáinak ismeretében egyértelműen megállapíthatjuk, hogy szerepel-e az analizálandó próba-DNS felépítésében egy bizonyos szekvencia (7. ábra)



7. ábra: (balra) A DNS-chipen rögzített nukleotidláncok egy komplementer DNS-szekvenciát azonosítottak; (jobbra) a DNS chip felületéről fénymikroszkóppal készített felvétel

Ez az eljárás alkalmas többek között fertőző mikroorganizmusok, genetikai rokonságok, ismert genetikai hibák kimutatására és azonosítására. A módszer hatalmas előnye, hogy egyidejűleg óriási számú vizsgálat végezhető el, mindez automatizálható és az értékelés során a számítógép minden előnye (pl. hálózati adatbázisok) kihasználható.

Rendszerünk igen hatékony alkalmazhatóságát a DNS-chip technológiában a következők tények támasztják alá:

- A mikrorobot munkaterének és a robotot kezelő személynek térbeli elválasztása biztosítja mind az ember védelmét, mind a vizsgált DNS minták érintetlenségét
- Rendszerünkkel lehetőséget tudunk teremteni olyan különleges felszereltséggel ellátott laboratóriumok létrehozására, amelyben a világ bármely pontján tartózkodó kutatók együtt tudnak dolgozni, és melyekben különleges biotechnológiai eszközökhöz széleskörű hozzáférés biztosítható.
- Valós körülmények közötti alkalmazhatóság: a manipulátor pozicionálási pontossága jól megfelel a feladat által támasztott igényeknek.

Összefoglalva elmondhajtuk, hogy a kitűzött céloknak megfelelő rendszert ezzel sikeresen megvalósítottuk.

4. Tervezett továbbfejlesztések

A jelenleg létrehozott telerobotikai rendszerben bár igen sok problémát megoldottunk, egyelőre csak erősen korlátozott keretek közt alkalmas arra a kutatási célra, amelyre készült. Ehhez a jövőben szeretnénk a rendszer összes eltervezett szolgáltatását megvalósítani.

Mindenekelőtt a gyakorlati alkalmazhatóságához legszükségesebb teendőkhöz látunk hozzá és a rendszer eddigi felfedezett hiányosságait igyekszünk pótolni.

- Be kívánjuk befejezni a fuzzy szabályozó implementálását.
- Hatékonyabb, virtuális valóság alapú felhasználói felületet szeretnénk biztosítani a kezelő személyek számára.
- Szeretnénk „éles” biotechnológiai kísérletben kipróbálni rendszerünket; ehhez a robot jelenlegi beavatkozószerve helyett megfelelő speciális tűt kell mikrorobotunkhoz illeszteni.

5. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani elsőként konzulensünknek, **dr. Vajta Lászlónak** technikai és szakmai segítségéért, a **BME Irányítástechnika és Informatika Tanszékének**, német részről a **Karlsruhei Egyetem Folyamatszabályozási és Robotika Intézetének** a MINIMAN mikrorobot kifejlesztéséért, valamint a **Volkswagen Alapítványnak** a kutatás anyagi feltételeinek megteremtéséért.

6. Irodalomjegyzék

- [Ara97_1] P. Arató, L. Vajta, G. Felső: Visual Sensoric for Microrobot Systems, Proc. of World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, 7-11.06.1997, Caracas, Venezuela, Volume 3., pp. 1-5. ISBN 980-07-4175-5
- [Ara97_2] P. Arató, L. Vajta, G. Felső: Micromanipulation Sensor Structure: a New Approach, Proc. of IFAC-IFIP MCPL 97 Conference on Management and Control of Production and Logistics, 31.08.-03.09.97. Campinas, Brazil, Volume 2., pp. 641-645
- [Bao97] Bao, Y. (1997) Transmission of Real-Time Video Across the Internet using MPEG Encoding. <http://www.eecis.udel.edu/~bao>
- [Bür99] Heinz Wörn, Axel Bürkle: Kamera-basiertes Sensorsystem eines mobilen Mikroroboters. 15. Fachgespräch Autonome Mobile Systems (AMS'99), München, 1999
- [Car96] Carter, M. (1996) Why use telerobotics for entertainment. <http://telerobot.mech.uwa.edu.au>.
- [Den95] Allen Denver (1995) Serial Communications in Win32. MSDN Library, Technical Articles.

- [Fal98] Falus, A., Váradi, A., Raskó, I. (1998) Az orvosi genetikai diagnosztika új eszköze, a DNS-chip. Orvosi hetilap 139 (16), 957-960.
- [Fri98] Friz, H. (1998) Design of an Augmented Reality User Interface for an Internet based Telerobot using multiple Monoscopic Views. Diplomamunka, Institute for Process and Production Control Techniques, Technical University of Clausthal.
- [Gei98] Geisler, W.S. and Perry, J.S. (1998) A real-time foveated multi-resolution system for low-bandwidth video communication. Human Vision and Electronic Imaging, SPIE Proceedings 3299, 294-305.
- [Gei99] Geisler, W.S. and Perry, J.S. (1999) Variable-Resolution Displays for Visual Communication and Simulation. The Society for Information Display, May 1999.
- [IPR] Institute for Process Control & Robotics – Universität Karlsruhe (IPR-UKA) home page: <http://www.wipr.ira.uka.de/miniman>
- [Kle98] Kleinheinz Gábor: 3 dimenziós mérőrendszer fejlesztése mikromanipulátorhoz. Diplomamunka, Budapest, 1998
- [Kor96] Kortum, P.T. and Geisler, W.S. (1996) Implementation of a foveated image-coding system for bandwidth reduction of video images. Human Vision and Electronic Imaging. SPIE Proceedings, 2657, 350-360.
- [MSD98] Microsoft Knowledge Base (1998) HOWTO: Send Raw Data to a Printer by Using the Win32 API. MSDN Library, Article ID: Q138594
- [NASA] NASA homepage. <http://www.nasa.gov>
- [Saf97] Saffiotti A.: The uses of fuzzy-logic in autonomous robot navigation. Soft Computing 1 (Springer-Verlag) 180-197, 1997
- [Sey96] Jörg Seyfried: Die kamerabasierte Steuerung eines piezoelektrischen Mikroroboters in einer universellen Mikromanipulationszelle. Diplomarbeit, Karlsruhe, 1996
- [She92] Sheridan, T.B. (1992) Telerobotics, automation and human supervisory control. Cambridge, MA: MIT Press.
- [Tan97] T. Tanaka, J Ohwi, L.V.Livintseva, K. Yamafuji, S.V.Ulyanov: Soft computing algorithms for intelligent control of a mobile robot for service use. Soft computing 1, 99-106, (Springer-Verlag), 1997
- [Vaj96] Vajda Ferenc, Kleinheincz Gábor: Flexibilis mikrorobot fejlesztése miniatürizált ipari technológiákhoz. TDK-dolgozat, Budapest, 1996
- [Vaj98_1] Vajda Ferenc: Pozicionáló szenzorrendszer mikrorobotos munkaállomáshoz. Diplomamunka, Budapest, 1998
- [Vaj98_2] Vajta, G. Felső: A New Approach to the Calibration Problems of Three-Dimensional Laser Scanners, Robotersysteme, Springer Verlag in 1998.
- [Vaj98_3] L. Vajta: The Realization of a Hierarchical Sensor System for Mobile Robot Positioning, in the Proc. of the TEMPUS INTCOM Symposium, Miskolc, 1998, pp. 31-40
- [Vaj99] F. Vajda, L. Vajta, M. Vogel: LABrador a Hierarchical Sensor System for Mobile Robot Navigation, Proc. of the INES99 International Conference on Intelligent Engineering Systems, Nov. 1-3. 1999, Slovakia 9.L.