

Információ feldolgozás intelligens irányítási rendszerekben

OTKA ny.szám: 42741

Vezető kutató: Vajk István

Kutatás időtartama: 2003-2006

Irányítási rendszereket általános értelemben a környezetünkben lejátszódó folyamatok irányítása céljából hozunk létre. Mivel e folyamatok köre az ipari technológiáktól az élő szervezetekig terjedően meglehetősen széles, ezért az irányításelmélet a folyamatokat absztrakt szinten kezeli, ugyanakkor az elméleti eredmények hasznosítására számos alkalmazási terület aspirál, az alapkutatások folyamatosságát így az irányításelmélet tudományos önfejlődésén túlmenően a mindig megújuló alkalmazási igények és a műszaki megvalósíthatósági feltételek változása is igénylik.

A rendszerirányítás hatékonysága a műszaki fejlődés egy adott fokán alapvetően függ az irányítandó objektumokról szerzett ismeretek mennyiségétől, rendszerezettségétől és mindenkorai rendelkezésre állásától. A megfelelő információ birtokában az irányítási rendszer aktív komponensei képesek a rendszer működése szempontjából kívánatos beavatkozásokat eszközölni, más szóval lehetővé válik az intelligens rendszerirányítás. A fenti gondolatmenetbe illesztve az Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék jelen pályázat keretében végzett kutatásának alapvető célkitűzése volt olyan módszerek és eljárások kutatása, amelyek az irányítandó folyamatról, az irányítási rendszerben szereplő objektumokról mérések formájában begyűjtött adatokból a lehető legteljesebb mélységű és megbízható információt képesek származtatni, kinyerni, majd ezen információ birtokában beavatkozási automatizmusokat működtetni. Ehhez kapcsolódóan a kutatásoknak természetesen a módszereket realizálni képes számítógépes feldolgozó algoritmusokat, valamint a kinyert információt megfelelő formában megjelenítő és tároló módszereket is eredményezniük kellett. Lényegében tehát modellezni kívántuk az irányítás által felügyelt folyamatot. Az informatikában és számítástudományban az elmúlt évtizedben meghonosodott adatbányászat elnevezésre rezonálva, a jelen pályázat keretében végzett kutatás tárgyát több vonatkozásban az információ bányászat kulcsszóval is jellemezhetjük.

A konkrét kutatásokat illetően az elmúlt időszakban végzett kutatások eredményeit négy területre koncentrálni mutatjuk be. Ezek:

- Robusztus rendszeridentifikáció, modellezés sajátérték-sajátvektor bázisú megközelítésben,
- Predikciós irányítási algoritmusok újszerű megközelítésben,
- Objektum modellezés intelligens irányítási rendszerekben, valamint
- Adatbányászati algoritmusok mint speciális tanulási algoritmusok kutatása.

Robusztus rendszer identifikációs kutatások

Az utóbbi években egyre több olyan módszer jelenik meg, amely sajátérték-sajátvektor számításra vezethető vissza. Néhány ezek közül a TLS (Total Least Squares) módszerek, sajátérték módszerek, a Koopmans-Levin algoritmusok, amelyek általános sajátérték-sajátvektor számítást igényelnek illetve számítástechnikailag robusztusabb RQ faktorizációt, SVD (Singular Value Decomposition), QSVD (Quotient Singular Value Decomposition) vagy GSVD (Generalized SVD) eljárásokat használnak az identifikációhoz. A fenti eszközöket alkalmazzák az altér alapú állapotterés becslési módszer család (4SID- subspace state-space system identification) tagjai is.

Még a 1937-ben Koopmans egy olyan módszert publikált, amelynek segítségével zajos mérésekből maximum likelihood (ML) becslést kaphatunk, amennyiben a jelek között paraméterekben lineáris statikus kapcsolat van. Levin általánosította Koopmans módszerét dinamikus rendszerek identifikációjára. A javasolt algoritmusok konzisztens becslést adnak (aszimptotikusan torzítatlanok és a becslések szórása a mintaszám növelése esetén csökken, elvileg végtelen minta esetén a szórás nulla lesz, amennyiben a gerjesztés megfelelő), ugyanakkor nem hatásosak, vagyis lehet találni ezeknél jobb statisztikákat, amelyeknél a paraméterek szórása kisebb ugyanolyan kísérleti feltételeknél. A kutatás keretében vizsgáltuk, hogyan javítható Koopmans-Levin (KL) módszere, hogyan érdemes módosítani Levin algoritmusát, hogy ML típusú becslést kapjunk. Kidolgoztunk két iterációs algoritmust, melyek konvergencia esetén ML becslést adnak. Továbbá általánosítottuk a KL módszert. Skálázható algoritmust dolgoztunk ki, melynek két szélsőséges esete a klasszikus Koopmans-Levin algoritmus, illetve az ML algoritmus. Megmutattuk, hogy Hankel mátrixok felhasználásával milyen iteratív, illetve iteráció nélküli identifikációs algoritmusok képezhetők. Kidolgoztuk ezen módszerek numerikusan kedvező algoritmusait. Megmutattuk, hogy milyen numerikus egyszerűsítéssel juthatunk a 4SID becslésekhez.

Új identifikációs módszercsaládot dolgoztunk ki lineáris dinamikus rendszerek identifikációjára. A módszerek a szinguláris érték dekompozíció (SVD), illetve az általánosított SVD algoritmusra épülnek. Megadtuk a módszerek direkt és indirekt megoldását. Megmutattuk, hogy a kidolgozott algoritmusok milyen kapcsolatban vannak az altér alapú módszerekkel.

Az altér-alapú becslési módszerek területén elért eredményekre épülve 2005-ben Vajk István akadémiai doktori értekezést nyújtott be, melynek címe: Identifikáció zajos mérésekből EVD-SVD alapú algoritmusokkal. Az értekezést 2006-ban sikeresen megvédte.

Predikciós irányítási algoritmusok kutatása

A predikciós irányítási algoritmusok kutatása terén elért eredményeinkről a korábbi időszakban számos nemzetközi fórumon számoltunk be. Tudományos tevékenységünk jellemzésül elmondható, hogy az algoritmusok lineáris rendszerekre történő alkalmazhatóságát számos elméleti hozzájárulással, valamint szimulációs környezetben elvégzett vizsgálattal támasztottuk alá. Kutatásokat végeztünk a predikciós algoritmusok nemlineáris rendszerekre történő kiterjesztésre és a gyakorlati alkalmazásokat támogató,

a kívánatos rendszerszintű performanciát biztosítani képes paraméterkészlet kialakításával, illetve a paraméterek hangolása területén.

Megmutattuk, hogy a predikciós irányítási algoritmusok számítási igényét csökkenhetjük nem egyenlő közötti predikciós pontok megválasztásával. Kimutattuk, hogy a predikciós számítási pontok exponenciális elrendezése adja a legkedvezőbb eredményeket. Predikciós irányítási algoritmust adtunk meg nemlineáris rendszer irányítására a rendszer modelljét több lineáris modell súlyozott összegével közelítve. Az algoritmust egy hőcserélő modelljének irányításán mutattuk be. Állásos predikciós szabályozási algoritmust dolgoztunk ki a folyamat indításakor fellépő tranziensek optimalizálását is biztosítva.

Vizsgáltuk a predikciós irányítási algoritmusok IMC reprezentációit. Algoritmust adtunk meg kaszkád GPC algoritmusra minimax elven optimalizált belső zavarelhárítással. Mivel a gyakorlatban a legelfogadottabbak a PID jellegű szabályozási algoritmusok, vizsgáltuk, hogyan lehetne kiterjeszteni a predikciós tulajdonságokat a PI és PID algoritmusokra. Egyszerűsített algoritmusokat vezettünk le egytárolós és kéttárolós holtidős szakaszok irányítására. Megadtuk a korlátozások kezelésének egy módszerét a Foxboro típusú struktúra általánosításával.

A témából Ulrich Schmitz, aki Haber Robert (Kölni Műszaki Főiskola) és Bars Ruth (BME AUT) PhD hallgatója „Nonlinear Predictive Control of Slowly Varying Dynamic Systems” címmel PhD disszertációt adott be.

Objektum modellezés intelligens irányítási rendszerekben

A gépi látás kutatási területén jelentős fejlődést tanúi lehettünk az elmúlt években. Számos egyszerűbb feladatot sikerült megoldani, de egy átfogó, a gyakorlatban is alkalmazható elmélet még mindig nem született meg. A terület számos, egymást részben átfedő kutatási területre esett szét, amelyek a következők: karakterfelismerés, arc felismerés, sztereó kép feldolgozása, mozgás-információ kinyerése, megvilágítás és árnyékolás figyelembevétele, tárgy azonosítás. Jelen kutatásban a tárgyak felismerésére helyeztük a fő hangsúlyt. Egy tárgy azonosítása, felismerése több lépésben történik. Az előfeldolgozás során a pixel alapú képet szükség szerint szűrjük és újra méretezzük a kamera rendszertől függően. Az így kapott képet szegmentáljuk és kiválasztjuk a képelemeket. Ez a lépés talán legnehezebb és legproblematikusabb része a feldolgozásnak, mivel ezeknek a jellemzőknek a kiválasztása nem egyértelmű. A leggyakrabban használt képjellemzők az élek, él metszéspontok, paraméterezett görbék, azonos szín komponensű területek. Ezen jellemzők alapján a tárgyat már azonosítani tudjuk, majd megkeressük, hogy a korábbi ismereteket összefoglaló könyvtárunk szerint, valamilyen távolság definíció alapján, melyik tárgyhoz esik legközelebb. Kutatásunkban jelentős hangsúlyt kapott az eredmények lépésenkénti tárolása. Mivel a képinformáció strukturálisan rendezett és hierarchikusan felépített, egy olyan adatstruktúrát alkalmaztunk, amely képes ezt az információt tárolni. A feldolgozás eredményét egy gráfban tároljuk, melynek csomópontjai a képjellemzők, élei pedig a köztük lévő

viszonyok. Így a tárgy felismerési probléma egy gráf összehasonlítási problémára redukálható. Egy gyakorlatban alkalmazható gépi látórendszer egyik követelménye, hogy jelentős adatbázissal, könyvtárral rendelkezzen. Ezt az adatbázist többféleképpen lehet létrehozni. A legegyszerűbb eljárásban közvetlenül, kézi módszerrel visszük be az egyes tárgyak paramétereit. Ennél hatékonyabb módszer, ha egy tanítási eljárást dolgozunk ki, amelynek lépései során megtanítjuk rendszerünkkel a tárgyak paramétereit. Ezt a tanítási folyamatot felügyelt vagy felügyelet nélküli tanítással lehet realizálni. Felügyelt tanítás során a tárgyakat külön-külön megmutatjuk a tanuló rendszernek, ami eltárolja a paramétereket a könyvtárban. Felügyelet nélküli tanításban erre nincs szükség, viszont az eltárolt adatokat nem lehet közvetlenül ellenőrizni és szabályozni.

A kutatás közvetlen célkitűzése egy olyan általános rendszer kialakítása volt, amely lehetővé teszi egyszerűen kezelhető és tanítható gépi látórendszer kialakítását. A rendszer kialakításánál az elsődleges cél nem a gyorsaság és a minimális memóriaigény, hanem az egyszerű, átlátható működési struktúra és tanulási képesség megvalósítása. Előírásokat adtunk meg egy általános képfeldolgozási rendszer kialakítására. Bayes-hálón alapuló algoritmust fejlesztettünk ki magas szintű alakfelismerési problémákra. Megadtuk az alacsony szintű képelemzés megválasztásának módját. Az adatok tárolására gráfos adatstruktúrát választottunk. A gráf csomópontjai a képjellemzőket, a gráf élei pedig a képjellemzők közötti viszonyt reprezentálják. Könyvtárban tároljuk az objektumok gráfjait. Az alakfelismerés során a kép gráfjára ráillesztjük a könyvtárban tárolt objektumok gráfjait. Az él és a pixel mellett bevezettünk egy új elemet, a diszket, ami tulajdonképpen egy konvolúciós maszk. A diszket mozgatjuk és forgatjuk a képen úgy, hogy az illeszkedés jóságát definiáló költségfüggvény szélsőértékét érjen el. A diszketeket, mint képelemeket könyvtárban tároljuk. Matlab alapú szoftver keretrendszert alakítottunk ki alakfelismerési feladatok megoldására. A kialakított rendszer alkalmazható robotikai rendszerek gépi látómoduljának kialakítására.

Adatbányászati algoritmusok kutatása

A mai információs társadalomban rendkívül sok adatot tartalmazó adatbázisok keletkeznek. Ezen adatbázisokban az információ megtalálása számításigényes feladat. Olyan adatbányászati algoritmusokat dolgoztunk ki, amelyek segítségével hatékonyan megtalálhatók a statisztikai értelemben gyakori elemhalmazok valamint az adatok között fellelhető kapcsolatok, szabályok. A publikációkban Cubic Structure-Based, illetve CodeMatrix algoritmusokra keresztelt módszerek jelentős mértékben gyorsítják az adatbányászati feladatok megoldását.

Intenzív kutatást végeztünk a gyakori szekvenciák bányászata területén is. A gyakori szekvencia bányászat problémája felfogható, mint a gyakori elemhalmaz bányászatának egy általánosítása, ahol a vásárlói kosarak esetén eltároljuk a vásárló adatait is. Ilyen módon lehetőség van a vásárolt elemhalmazok egy szekvenciáját definiálni, melynek részszekvenciáinak meghatározása szintén fontos feladat. Algoritmust dolgoztunk ki a gyakori szekvenciák hatékony meghatározására. A módszer lényege, hogy a szekvencia tartalmazást olyan módon vizsgálja, hogy a bemenő tranzakció elemeit pontosan egyszer olvassa be. A módszer alapját a szekvenciákra felépített véges automaták adják. Az

automatákon bevezetett összefűzési művelet segítségével egy olyan struktúrát hoztunk létre, mellyel a nagyszámú jelöltek is hatékonyan kezelhetők. A létrehozott struktúra (State Machine-Tree, SM-Tree) vizsgálatával meghatároztuk annak hatékony kezelési módját. Az algoritmus további előnye, hogy a szintenként haladó elvet követve memória igénye független a tranzakciók számától.

Az adatbányászat területén „Gyakori minták bányászata tranzakciós és strukturált adatbázisokban” címmel Iváncsy Renáta sikeresen megvédte PhD értekezését.

A szabályozástechnika oktatásának korszerű módszerei

A kutatás során elért eredményeket közvetlenül beépítettük az oktatásba. Példaként említhetjük, hogy a doktori képzésben szereplő „Adaptív rendszerek” című tárgy vagy az alapképzés „Szabályozástechnika” tárgy oktatási anyagának korszerűsítését. Például a szabályozástechnika oktatásához korszerű anyagokat dolgoztunk ki magyar és angol nyelven, amelyek röviden bevezetik és magyarázzák a fogalmakat, majd egymásra épülő példákat adnak meg. A Matlab/Simulink program alkalmazása támogatja a feladatok megoldását. Oktatási eredményeinkről (beleértve a laboratóriumi fejlesztéseket és az internet felhasználását szabályozott szakaszok irányítására) beszámoltunk az Innovations 2003: World innovations in engineering education and research, ed. by W. Aung et al. iNEER Begell House könyv 19. fejezetében (Tuschák R, Vajk I, Bars R, Hetthéssy J, Barta A., Charaf H: Teaching basic control theory: a novel approach using web – matlab based teaching materials. pp.185-194.).

Új jegyzetet jelentettünk meg „Szabályozástechnika” címmel, amely a BME, SZE és DTE egyetemi oktatását segíti. Megjelentettük a „Szabályozástechnika, Matlab gyakorlatok” jegyzetet is, amely a Szabályozástechnika jegyzet fejezeteihez igazodva dolgoz ki Matlab-bal támogatott feladat megoldásokat.

Számszerűsített eredmények

A kutatás keretében egy MTA doktori értekezés, valamint két PhD értekezés került megvédésre.

A munka keretében 68 cikk született. Ezek jelentős része mértékadó nemzetközi konferenciákon hangzott el, illetve annak kiadványaiban jelent meg.

A támogatás több posztgraduális hallgatónak biztosított kutatási háttérrel.

Jelentős eredménynek tekinthető az a tény is, hogy a kutatási feladatok megoldásába több kiváló képességű egyetemi hallgatót be lehetett kapcsolni. Azon túlmenően, hogy a kutatási munkákban való részvételükkel megismerkedtek az irányításmélet modern módszereivel, az itt elért eredmények TDK dolgozatokban és diplomamunkákban is megjelentek.

A kutatási támogatás lehetőséget adott arra, hogy néhány egyetemi oktató és doktorandusz hallgató nemzetközi konferenciákon megjelenhessen és előadást tarthasson.