

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Doktori tézislevelei
Gépészmérnöki Kar Doktori Tanácsa

Nacsa János

MTA SzTAKI, CIM Kutatólaboratórium

**Intelligens, nyílt gépvezérlések és
tudásmegosztási problémáik
gyártórendszerekben**

Budapest, 2001. május

1. BEVEZETÉS

A gyártástechnológia fejlődése, az összetett és egymással sokszor ellentétes (piaci, minőségi és muszaki) követelmények állandóan igénylik a meglévő módszerek korszerűsítését, új megoldások keresését. Éppen ezért az ipari automatizálás hagyományosan az információtechnológia (IT) különféle eredményeinek az egyik legizgalmasabb alkalmazási területe. A számítógéppel segített tervezés és gyártás (CAD/CAM), a robotika, a gépi látás, a felügyelet, az intelligens viselkedésű gyártóeszközök mind-mind olyan terület, ahol az IT, és ezen belül fokozottan a mesterséges intelligencia (MI) sokféle kihívással találkozik. A hagyományosabb módszerek korlátai ugyanis egyre feszítőbbek, így akár kisebb problémák jó megoldásai is sokat segíthetnek a termelésben, adott esetben pedig nagy piaci sikerekre számíthatnak.

A 80-as években kerültek előtérbe a különféle nyílt rendszerek, amelyek a korábbi egyedi, alapvetően gyártófüggő megoldások helyett kínáltak alternatívát. Ez először a különböző ipari kommunikációs protokollok világában jelentkezett (pl. MAP - Manufacturing Automation Protocol), majd a programinterfészek között (pl. STEP - Standard for Exchange of Products Model Data), végül a gépvezérlések architektúrájában is.

Megvizsgálva a gyártóeszközök vezérléseinek fejlődését, látható, hogy az elmúlt évtized nagymértékű fejlődésének a háttérben a korábban alkalmazott megoldások jobb minőségű, nagyobb pontosságú és erősebb számítási kapacitású újrafelhasználása áll. Emellett a PC technológia általánosan elfogadott és használt platformmá vált. Számos olyan kérdés azonban továbbra is nyitott, amelyeket az általános vélekedés szerint MI paradigmák alkalmazásával lehetne sikeresen megoldani.

Nagy lökést jelentett ennek a kutatási területnek, az ún. IMS (Intelligent Manufacturing Systems) világméretű kutatási program beindulása a 90-es évek első felében, amely kiemelkedő projekteket fog össze.

Az intelligens módszerek alkalmazása nyílt architektúrákban olyan ígéretes terület, amely sok régi és nehézkesen kezelt problémára kínál biztató megoldást.

2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

A kutatásom alapvető célja a meglévő rendszerek korlátait meghaladó megoldások keresése a gép és cellavezérlésekben, MI módszerek alkalmazásával, a módszertan és a környezeti feltételek vizsgálatával. Ez olyan újszerű megközelítéseket jelent a gépvezérlések körében, amelyekkel a korábbiaknál hatékonyabban lehet integrálni mesterséges intelligencia alapú komponenseket a vezérlésekbe. Ehhez alapvetően kulcsként a gépvezérlések területén és a muhelyszinten meglévő különféle nyílt rendszerű megoldásokat használtam fel.

A kutatás során figyelembe kellett vennem Magyarország, ill. kutatóhelyem szerény súlyát az ipari automatizálás világméretű trendjeinek alakításában. Arra törekedtem, hogy a nagy nemzetközi trendeket és szabványokat alapul véve, felvessem azok elonyeit és hátrányait, és azokhoz illeszkedő megoldásokat keressek.

Célom volt a gyártórendszerekben használható elosztott intelligencia működésének megértése, a különböző intelligens rendszerek összekapcsolásából eredő összetett rendszer belső kooperációjának a vizsgálata.

Figyelmet fordítottam arra is, hogy kutatási eredményeim alkalmazhatóságát a gépvezérlések témakörén túlmutatóan is megvizsgáljam.

3. NEMZETKÖZI KITEKINTÉS

Dolgozatom témakörének összetettsége miatt többféle kutatási terület eredményeit kellett megismernem.

Miután a kutatások és a szabványosítás után megjelentek a nyílt ipari adathálózatok (pl. MMS - Manufacturing Message Specification) a különféle vezérlések opciói között, a nyílt ipari rendszerek gyártástechnológiai kutatásában a 90-es években a legnagyobb figyelem a nyílt gépvezérlésekre, vagyis a belső struktúrák felé irányult. A vezető CNC gyártók (Siemens, Fanuc) a felhasználói felület szintjén kezdtek el termékeikben PC-t alkalmazni, ezzel biztosítva egyfajta a nyíltságot; mások az egész gépvezérlést - egy kiegészítő jelprocesszor (DSP) segítségével - tették PC alapúvá. Természetesen a PC önmagában nem jelent nyílt gépvezérlést. Több egyetemi kutatóhelyen azonban teljesen nyílt és moduláris gépvezérlések kutatása indult el (pl. Koren, Pritchard, Altintas vezetésével). Ezekből alakultak ki a legfontosabb nyílt géppvezérlési iniciatívák: az európai OSACA (Open System Architecture for Controls within Automation System), a japán OSEC (Open System Environment for Controllers) és az amerikai OMAC (Open Modular Architecture Controller).

A termék és programleírás területén a STEP szabvány vált uralkodóvá, előbb a különféle CAD rendszerek adataihoz, majd napjainkban - egyelőre kutatási prototípusokban - már a megmunkáló programokhoz (STEP-NC) használják. Természetesen ehhez kapcsolódóan megkezdődtek a kutatások olyan gépvezérlések kifejlesztésére, amelyek a hagyományos G kód helyett/mellett STEP-NC nyelven leírt programot is futtatni képesek.

A gyártástechnológia különböző vezérlési problémái indukálják a különböző MI módszerek alkalmazásának a kipróbálását, újszerű megoldások keresését. Gyakori a több módszer ötvözésével próbálkozó ún. hibrid megoldások kutatása.

A szubszimbolikus (neurális háló) és a szimbolikus MI módszerek a gépközeleli vezérlési és on-line felügyeleti feladatokban egyaránt az érdeklődés előterébe kerültek. Fuzzy alapú szabályozással hagyományos PID szabályozást egészítettek ki vagy akár helyettesítettek (pl. de Silva), míg a neurális hálóval a különböző forgácsolások deviancia állapotait lehet felismerni (pl. Warnecke, Dornfeld).

Természetesen mindkét módszernek sok más kísérleti alkalmazása ismert gépvezérlések körében (pl. hőmérsékleti deformáció kompenzálása, szenzor jelek előfeldolgozása során, inverz kinematikai számítások stb.)

A gyártás előkészítés különböző problémái mellett a modell és szabályalapú rendszerek elsősorban a cella- vagy ennél magasabb szinten támogatják hatékonyan a vezérlési feladatokat, erre ma már éles ipari alkalmazásokat is lehet találni (pl. Ford). Ugyanakkor ezeken az eszközökön alapuló sikeres kutatási eredmények ismertek az alábbi gépközelési feladatokban is: szenzorok, érzékelők validálása, szerszámgépek diagnosztikája és egyes alkotóelemeinek élettartambecslése, vagy az emberi tévesztések kiküszöbölésére használt rendszerekben.

A hagyományos hierarchikus vezérlési koncepció mellett előbb a heterarchikus, majd a ketto elonyeit ötvöző holonikus gyártórendszerek (pl. Van Brussel, Norrie) kutatása kiemelkedő a 90-es években. Többféle vezérlési koncepciót és referencia architektúrát is kidolgoztak. Az intelligens ágens elven működő technológia a holonikus rendszerek mellett több más gépvezérlési struktúrában is felbukkant (pl. IMA).

Nem hozott azonban áttörést az elmúlt 10 esztendő az intelligens CNC kutatásokban. Összességében az ismert kutatások csak részsikereket jelentenek, amelyek leginkább egyetlen funkció esetében és ott is gyakran csak erős korlátokkal érvényes eredményeket szolgáltatnak. Nagyon kevés olyan kísérleti rendszer ismert, ahol egyszerre több modulban alkalmaznak MI-t, bár erre is van példa (pl. Cheng).

A Web technológia előtérbe kerülésével Eriksson nyomán megjelent van az ún. tudásszerver fogalma, ahol egy szerver intelligens funkciói egy általános felületen keresztül bármelyik böngésző segítségével elérhetőek. Ennek a koncepciónak jelenleg elsősorban a tervezésben (pl. ICAD-KBO) vannak ismert gépészeti alkalmazásai.

4. HAZAI ELOZMÉNYEK

Összességében kifejezetten jelentősnek minosíthetők a magyar eredmények, mintha a gyártástechnológiával foglalkozó magyar kutatók mindegyikét kisebb-nagyobb mértékben inspirálta volna, hogy az általa kutatott problémákban MI megoldásokkal érjen el eredményt.

A magyar gyártásautomatizálásban a mesterséges intelligencia módszerek alkalmazásának kutatása Hatvány József munkásságáig nyúlik vissza, aki már a 80-as évek elején bevezette az intelligens gyártás fogalmát, követelményrendszerét.

A CNC technológiában a 70-es években Magyarországon, a SzTAKI-ban Nemes László vezetésével kifejlesztett Dialóg nagy nemzetközi sikert jelentett. Ennek egyik opciójával pozícióhibák on-line kompenzációját is meg lehetett oldani. A 80-as évek végéig gyártotta az EMG a Hunor, a Vilati az Unimeric vezérlését. Az előbbihez a Miskolci Egyetemen (Vilmos), az utóbbihoz a SzTAKI-ban (MON•KEY) készült

felügyeleti rendszer Erdélyi Ferenc ill. Monostori László vezetésével. Az utóbbi rezgés-felügyeleti funkciójának fejlesztésében magam is résztvettem. A 90-es években Schusztér György és Sándor Tamás (Kandó Foiskola) fejlesztett PC alapú vezérlést, az NC Technika Rt. pedig sikeresen gyárt PC alaphoz kapcsolódó DSP processzoros CNC-t. A 90-es évektől a szerszámgép felügyeleti problémákat a SzTAKI-ban (Monostori László, Egresits Csaba, Viharos Zsolt János) és a BME-n (Markos Sándor, Szalay Tibor, Mészáros Imre) neurális hálók és fuzzy rendszerek segítségével kísérelték meg megoldani. Ezekben a kutatásokban is részt vettem.

A cellavezérlők körében a SzTAKI-ban fejlesztett Flexcell rendszer (Kovács György, Haidegger Géza, Csurgay Gábor, Bertók Péter) jelentett úttörő vállalkozást, amelyet több helyen sikerrel implementáltak. A nyílt ipari rendszerek kutatására több kísérleti labor létesült: a SzTAKI-ban a MAP Oktató központja (Haidegger Géza), valamint a BME MMT-n (Tóth Csaba) és a ME Informatikai Intézetében (Erdélyi Ferenc). A MAP Oktató központ munkájában végig részt vettem és eredményeire kutatásaimban alapoztam.

Közvetlen munkahelyemen, a SzTAKI CIM osztályán Kovács György, Mezgár István és Kopácsi Sándor fejlesztett ki tudásbázisú szimulációs, ütemező és minőségbiztosítási rendszert. E rendszer kommunikációs feladatainak megoldása a dolgozatom egyik kiindulópontját jelentette.

Magyarországon, az MI kutatások területén szemléletével és probléma felvetéseivel meghatározó Vámos Tibor munkássága. Jelentős eredmények születtek a folyamattervezés optimalizálása genetikus algoritmusok, valamint a fellépő konfliktusok esetalapú kezelése területén tudásszerver segítségével (Horváth Mátyás, Márkus András és Váncza József). Utóbbiak, és Kádár Botond eredményei az intelligens ágensek gépészeti alkalmazási területén is jelentősek.

5. A KUTATÁS MÓDSZEREI

A kutatás módszereinek megtervezésénél figyelembe kellett vennem a téma interdiszciplináris jellegét, amely magában foglalja a gépvezérlések és gyártórendszerek, a mesterséges intelligencia, valamint az információ technológia fontos rész-területeit.

Módszerként IT és MI alkalmazási kérdéseknél minden alkalommal a prototípus megoldás kifejlesztésén keresztül vezetett az út. Ez tette lehetővé, hogy az elképzelések realizálásakor kiderülhessenek olyan korlátok vagy ellentmondások, amelyek - szoftver kérdéseknél alkalmanként - alapjaiban kérdojelezhetnék meg az egyes ötletek életrevalóságát.

Az információ összegyűjtésének a módja a kutatást felölelő közel 10 évben radikálisan megváltozott. Eleinte a SzTAKI tudományos könyvtárában rendelkezésre álló folyóirat-állomány, manapság az Interneten elérhető cikkek, szoftverek, specifikációk jelentik az információszerzés elsődleges forrását. Tapasztalatból vallom azonban, hogy a legtöbbet tanulni, inspirációt szerezni a szakmai beszélgetésekből és vitákból lehet.

Figyelembe véve az egyes témák összetettségét, munka és erőforrás igényét, törekedtem arra, hogy kutatási munkáim összekapcsolódjanak a kutatólaboratórium szerződéses feladataival. Adott esetben a kutatási projektek egyes megoldandó feladatai jelentették az alapot az eredmények kidolgozására (pl. PROARC, OSACA), máskor az elképzeléseim bizonyítására sikerült egyes szerződéses munkánkat felhasználni (pl. Paks).

A laborban folyó közös kutatómunka segített ahhoz is, hogy kollégáimmal egymás eredményeire tudjunk alapozni. Többben kutatásaikban sikerrel használták a SIMAN szimulációs rendszer és a G2 intelligens környezet általam realizált összekapcsolását, én viszont Haidegger Géza MMS (Manufacturing Message Specification) alapú RobotVMD-jére (Virtual Manufacturing Device) és Drozdik Szilveszter Corba alapú CNC vezérlésre tudtam támaszkodni eredményeim megalkotásában.

Mind az "intelligens", mind a "nyílt" fogalmak gyakran előkerülnek a szakirodalomban, szinte divatosnak tekinthetők. Kutatásaim során törekedtem olyan megoldások keresésére, amelyek ezeket a fogalmakat nemcsak szlogenként használják.

6. A KUTATÁS EREDMÉNYEI, TÉZISEIM

Tézisenként hivatkozom az értekezés fejezeteire és megadom az eredmény publikálásának a referenciáját.

1. Tézis - Intelligens kommunikáció logikai szintjei (3. fejezet)

A gyártórendszerek vezérlésének fejlesztése munkahelyem, a SzTAKI CIM Kutatólaboratóriumának egyik központi feladata volt. Az autonóm komponensek kommunikációjának kutatása során jelentős tapasztalatot gyűjtöttünk össze.

Bevezetem gyártórendszerekben a logikai kommunikáció három szintjét, amelyekről megmutattam, hogy megfelelnek a hagyományos tudás-feldolgozási kategóriáknak. Tudásbázisú szimulációval illusztráltam, hogy az egyes kommunikációs üzenetek alapján hogyan elemezhető egy gyártórendszer elosztott intelligens működése. [1, 8, 24]

Sem az olyan gyártórendszerekben, ahol több intelligens berendezés található és ezek egymással is kommunikálnak, sem az utóbbi években előtérbe került intelligens ágens alapú rendszerekben nem megoldott a különféle üzeneteknek a futás közbeni elemzési lehetősége. A három-szintű osztályozás (vezérlési adatok, tudásgyűjtés és tudás megosztás) segít a kooperáció szintjének feltérképezésében. Ezek a kategóriák lényegében egy az egy-es megfeleltetésben vannak a lehetséges fogalomalkotási típusokkal, és lazább kapcsolatban a különböző szintű protokollokkal.

A különféle üzenetek - éppen a kategóriák egyszerűsége miatt - tartalmukban jól elkülöníthetők. Egy tudásbázisú környezetben felépített gyártórendszer szimuláció, amely futása közben generálja az egyes készülékek egymás közötti üzeneteit,

alkalmas keretet biztosít az osztályozás elvégzésére és a különféle üzenetek között meglévő pillanatnyi arányok, kapcsolatok vizsgálatára.

2. Tézis - Nyílt gépvezérlések (4. fejezet)

Az elmúlt években bekapcsolódtam jelentős világméretű nyílt gépvezérlés fejlesztési munkákba. Így társszerzőként részt vettem az európai OSACA nyílt vezérlés referencia kézikönyvének kidolgozásában [13] és az amerikai OMAC nyílt vezérlés egyik konkrét megvalósításának kritikai elemzésében [14].

Metodikát dolgoztam ki önálló nyílt gépvezérlések értékelésére programozói interfészeik (API), referencia architektúráik és infrastruktúráik (hardver-szoftver környezet) elemzésével. Ezt alkalmazva összehasonlítottam a három legfontosabb nyílt gépvezérlési kezdeményezést (OSACA, OMAC, OSEC). Bebizonyítottam, hogy ezek egymással nem kompatibilisek, hogy jelen formájukban ezek alapján nem lehet egy közös általános nyílt gépvezérlést kialakítani. Javaslatot tettem az OMAC alapján való továbblépésre, eközben megoldást adtam az OMAC legnagyobb hátrányának a kezelésére - a bonyolult programozói felületének az egyszerűsítésére -, hogy a gyakorlatban használható megoldást kapjunk. [9, 15, 23]

A különféle nyílt gépvezérlési iniciatívák gyakorlatilag ugyanazon felismerések alapján születtek meg és lényegében céljaikban is megegyeznek. Ennek ellenére részletes kiértékelésem bebizonyította és példákkal igazolta, hogy milyen sokféle és szerteágazó inkompatibilitás áll fenn a kidolgozott megoldások között.

Az értékelésben egyértelműen a legmegalapozottabbnak az OMAC iniciatíva bizonyult, így ennek mentén javaslom a további fejlesztéseket. Felismertem, hogy a kevés OMAC implementáció legfőbb oka programozói felületének jelenlegi túlzott bonyolultsága. Erre egy olyan megoldást adtam, amely az egyes OMAC modulok interfészeinek csak egyes elemeit tartja meg kötelezőnek, a többit opcionálisnak kezeli. Ezt részletesen kidolgoztam a tengelyvezérlő modul esetében. Az egyszerűsítés alapelveként meghatároztam, hogy a minimum készlettel a modulok alapfunkciói megvalósíthatóak maradjanak és a modulok továbbra is kompatibilisek legyenek belső működésükre specifikált véges állapot gép (FSM - final state machine) modellekkel.

3. Tézis - Nyílt ívhegesztő robot (5. fejezet)

Ívhegesztő robotok gyakorlati használatát nagymértékben megkönnyíthetik a technológiatervezés és végrehajtás feladatát együttesen (integráltan) kezelő rendszerek. Ilyen off-line programozói rendszert fejlesztettünk az EU Copernicus program PROARC (CAD-Based Programming System for Arc Welding Robots) projektjében alacsony költségű PC-s környezetben. A szélesebb körű felhasználhatóság miatt törekedtünk a rendszer nyílt kialakítására.

3.1 *Definiáltam és megvalósítottam egy STEP alapú, bővíthető ívhegeszto robot nyelvet, amely alkalmas kissorozatú, egyszeru mozgásokból álló hegesztések leírására és integrálva tartalmazza mind a varratonkénti, mind a varratcsoportonkénti hegesztési utasításokat. [2, 12, 18]*

A 90-es években a STEP-beli leírás a gyártás különböző feladataiban elfogadott és szabványos eszközzé vált. Ezt felismerve az egyszeru (egyenes, kör és ptp) mozgásokból álló ívhegesztésekre egy olyan objektum orientált programleírást definiáltam, amely rugalmasan bővíthető és forrásában is olvasható. Négy alapmuveletből - pozicionálás, hegesztés, off-line keresés és különleges muveletek (pisztoly tisztítás, pisztoly csere) - állítható össze a robotprogram. A robotprogramot úgy alakítottam ki, hogy az a hegesztési paramétereket is tartalmazza (feszültség, áram, huzalsebesség), támogassa az ívhegesztési technológia szokványos muveleteit (pl. rezegtetés, a varrat végén keletkező kráter feltöltése rövid visszamozgással) és a hegesztés során K és V varratok esetében használt legtipikusabb keresési muveleteket.

3.2 *Kidolgoztam és sikeresen implementáltam az MMS robotszabványon alapuló ívhegeszto robot virtuális gyártóberendezést, az ún. AWR-VMD-t (Arc Welding Robot - Virtual Manufacturing Device) [4, 6, 18]*

Az MMS protokoll lehetővé teszi a virtuális gyártóberendezésekben különféle objektumok egyedi specifikációját. Az ún. RobotVMD modellt fejlesztettem tovább azzal, hogy az ívhegeszto berendezés jellemzőit egyetlen tartományba (domain-be) foglaltam össze. Ezt a tartományt a robot virtuális gép részeként definiáltam, de a modell alkalmas arra is, hogy akár egy önálló virtuális gépként szerepeljen.

A STEP alapú programnyelvet és az AWR-VMD-t sikeresen alkalmaztam egy off-line robotprogramozói munkaállomás fejlesztésében, az eredmények nyomán egy KUKA ívhegeszto robotot lehetett sikeresen nyílt hálózatban használni.

4. Tézis - Intelligens megoldások nyílt vezérlésekben (6. fejezet)

A 3. tézishez köthető ívhegeszto robot programozói rendszer eredményeinek MI eszközökkel történő továbbfejlesztése olyan intelligens funkciók specifikálását tette lehetővé, amely a korábbi projektben feltárt korlátokat jelentősen meghaladta. A VMD modell létrehozása irányította figyelmemet az MMS objektum orientált megközelítésében rejlő további lehetőségekre.

4.1 *Felismertem és igazoltam, hogy az MMS protokoll alkalmas eszköz tudásbázisú cellavezérloben a vezérlendő berendezések belső modellezésére is. Elsőként fejlesztettem ki MMS hálózatban működő intelligens cellavezérlo prototípusát robotcella irányítására. Erre a környezetre alapozva definiáltam ívhegeszto robotok off-line programozói munkahelyének olyan tudásbázisú bővítését, amely a hegesztés tervezéstől a gyártásig egy rendszerben támogatja a felhasználót. [3, 5, 7, 11]*

Az MMS protokollon alapuló virtuális gyártóeszköz modell egy adott gyártóberendezést reprezentál, amely elegendő egy tudásbázisú cellavezérlő belső adathalmazában a berendezés definiálására. Egy belső, az intelligens keretrendszerben implementált MMS könyvtár szolgáltatásait használva a programok letöltése, a távoli program vezérlése vagy a legfontosabb adatok lekérdezése automatikusan végrehajtható, amikor a cellavezérlő belső következtetései során vagy a kezelő kezdeményezésére erre szükség van.

A technológiai adatok adatbázisban tárolt default értékei helyett szabályokban és frame-kben lehet leírni a szakértőktől összegyűjtött hegesztési ismereteket. Az így megtervezésre került rendszer komplex tudásbázisa, amely többféle tudásmodulból áll, a CAD rajztól kiindulva a gyártásig minden fázisban támogatja a hegesztési feladat végrehajtását.

A cellavezérlési feladatok után felismertem, hogy a nyílt gépvezérlések kifejezetten alkalmas alapot jelentenek MI eszközök vezérlésekbe integrálására.

4.2 Elsőként alkalmaztam OSACA környezetben MI módszereket és kifejlesztettem egy G2 alapú, ember-gép kapcsolattal rendelkező CNC prototípusát OSACA platformon, amellyel a kezelő beállításait lehet támogatni vagy korrigálni egy háttérben futó szabályhalmaz segítségével. [10, 16, 21]

Az MI eszközök vezérlésekbe történő beillesztésének komoly korlátját jelenti a vezérlések zártsága, azaz, hogy tipikusan csak a felhasználói felület nyílt. A nyílt gépvezérlések pontosan specifikált modulhierarchiája segítségével azonban egy olyan általános környezetet tudtam egyszerűen kialakítani, ahol egyes modulok MI alapúak.

Igazolásul az OSACA demonstrációs szoftver egy modulját, a HMI-t (Human Machine Interface) emeltem át MI alapú G2-es környezetbe. Ehhez egy speciális gateway szoftvert is ki kellett fejlesztenem az OSACA platform és a G2 között. Az adott prototípus korlátai között a G2 tudásbázisa a kezelő beállításait módosította (pl. adott pozíciókban a tengelysebesség limitálása).

5. Tézis - Vezérlések tudásszervere (KSC) (8. fejezet)

Noha a CNC-k az elmúlt 10 évben jelentősen fejlődtek, az intelligens CNC-k megjelenése továbbra is várat magára. Több szempontból elemeztem az intelligens CNC-k helyzetét, vizsgálataimban az elvárások és a kutatási eredmények áttekintésével eljutottam a jelenlegi korlátok és lehetőségek összegyűjtéséhez. Eközben a gépvezérlések belső, strukturális adaptivitását három szinttel (Nincs, Korlátozott, Teljes) jellemeztem.

Intelligens CNC-k létrehozása céljából, de általánosabb felhasználási lehetőséggel bevezettem és megvalósítottam a vezérlések tudásszervere (KSC) koncepciót, amely alkalmas nyílt gépvezérlések MI eszközökkel való kiegészítésére. A KSC koncepciót sikeresen igazoltam egy más jellegű - villamos energia ipari - alkalmazásban. [17, 19, 20, 22, 25]

Meghatározásom szerint a vezérlések tudásszervere (KSC) olyan hálózati erőforrás, ami intelligens algoritmusok hatékony futtatását végzi és így egyéb rendszerek számára az intelligens működés lehetőségét szolgáltatja. Ma már egyre több MI környezetnek van komponens alapú interfésze is (pl. Corba), valamint hasonló tulajdonságokkal rendelkező nyílt vezérlési architektúrák is ismertek. Azt állítom, hogy lehetőség van a KSC kialakítására CNC környezetben és így olyan infrastruktúra építhető, amely kiválóan alkalmas intelligens CNC-k létrehozására. Továbbá a KSC lehetővé teszi, hogy egy nagyobb környezetben (pl. műhely) több egymástól függetlenül futó berendezés is ugyanazt a KSC-t használja önálló, vagy esetleg részben összefüggő MI alapú feladatok végrehajtására, ezzel költségtakarékos megoldást biztosítva. Elemeztem a KSC és az intelligens ágens struktúrák közötti hasonlóságokat és különbségeket.

A KSC koncepcióm igazolásául egy egyszerűsített OMAC alapú (2. tétel) egytengelyes vezérlést kapcsoltam G2 környezethez Corba felületeken keresztül. Az intelligens modul a tengely teszteléséhez használja az MI erőforrásokat.

A KSC-t ipari alkalmazásban is sikeresen alkalmaztam és így a koncepció működőképességét bebizonyítottam a Paksi Atomerőmű 400/120 kV-os villamos alállomásán kialakított tanácsadó rendszerben, amely többféle intelligens funkciójával támogatja az ügyeletes kezelőket és a technológus mérnököket.

7. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

A kutatásaim során elért eredményeim az alábbi projektekből kerültek hasznosításra:

- **PROARC:**
Mind a STEP alapú robotprogramot, mind a AWR-VMD-t sikeresen felhasználtuk ebben az EU Copernicus projektben, amelynek eredményeképpen két helyszínen (Aachenben és Budapesten a Kandó Főiskolán) sikeresen vezéreltünk ívhegesztő robotot.
- **IDAS-OSACA:**
Az európai OSACA vezérlések elterjedésében, a különféle prototípusok megjelenésében és azok tényleges kompatibilitásában hozott ugrásszerű eredményt az OSACA referencia kézikönyv kiadása, amit megelőzött a meglévő ellentmondások feloldása és a korábban specifikálatlan részek kidolgozása. Az OSACA egyes nemzetközi bemutatóin szerepelt az általam kifejlesztett intelligens (G2 alapú) HMI.
- **TIME-ICON:**
Az OMAC egy konkrét prototípusának, amit a Lawrence Livermore National Laboratory-ben készítettek el, a részletes kiértékelését végeztük el kollégáimmal. A prototípus egyes hibáit vissza tudtam vezetni az OMAC bonyolultságára.

- **HOSACA:**
Az OSACA továbbfejlesztésében, annak Corba alapú realizálásában jelentek meg a CNC-k belső adaptivitásával kapcsolatos gondolataim.
- **HIR-G2:**
Ipari hasznosulás szempontjából kiemelkedő jelentőségűnek a tudásszerver (KSC) paksi alkalmazását tartom. A rendszer megnövelte az állomási kezelők számítógépes támogatását a különféle szervizként futó intelligens funkciói révén.

A Ph.D. értekezés beadásakor több, mint 60 angol nyelvű folyóirat vagy konferencia cikkem jelent (ill. van elfogadva), amelyeket egyedül vagy kollégáimmal írtam. Ezekre eddig 27 olyan hivatkozást találtam, ahol nincs átfedés a szerzők között. A 9. pontban szereplő publikációs lista azokat a legfontosabb cikkeimet tartalmazza, amelyek közvetlenül kapcsolódnak az egyes tézisekben megfogalmazott állításaimhoz.

A 90-es évek eleje óta rendszeresen oktatok (félévente 3-5 alkalommal) a BME több karán (Közlekedés-, Gépész- és Villamosmérnöki Kar), ahol az értekezésben bemutatott eredményeimről is beszámolok.

8. TOVÁBLÉPÉSI LEHETOSÉGEK

A közeljövőben előttem álló izgalmas kihívásnak látom egy valódi szerszámgép teljes gépvezérlésének a megalkotását az ún. egyszerűsített OMAC specifikáció szerint, ill. egy ilyen berendezés intelligens CNC-vé tételét a KSC segítségével. Ehhez kapcsolódóan foglalkoztat egy STEP-NC nyelvet érő CNC prototípusának a megalkotása ebben a környezetben. A KSC és a STEP-NC együttesében nagyon komoly távlati lehetőségeket látok.

Szeretnék további elemzéseket és szimulációs vizsgálatokat végezni az intelligens kommunikáció logikai szintjei témakörében, esetleg valódi rendszerek adatait elemezni, másrészt azt megvizsgálni, hogy az üzenetekből kiindulva pontosan milyen (statisztikai) jellemzők segítségével lehet hatékonyan vizsgálni az elosztott intelligencia hatását a gyártórendszerben.

1-2 éves perspektívában a konkrét ipari alkalmazás területén remélem, hogy további tanácsadó rendszereket - amelyek KSC elven működnek - tudunk majd a Paksi Atomerőműben üzembe helyezni.

Komoly kutatási és alkalmazási lehetőséget látok a KSC-nek a SzTAKI, GE Tungstam, BME és ME által frissen elnyert Széchenyi pályázat ("Digitális gyár") munkájában.

9. A TÉZISEKHEZ KÖZVETLENÜL KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓIM

1. Nacsa J., Kovács G.L.: Communication problems of expert systems in manufacturing environment, Symposium on Artificial Intelligence in Real-Time Control, Valencia, Spain, AIRTC'94, Oct. 3-5, 1994
2. Nacsa J., Kovács G. L.: A PC-based OSI system to assist robotized welding. In: Opening productive partnerships. Concentrated efforts for Europe. Proceedings of the Conf. in Integration in Manufacturing. Vienna, IOS, 1995. pp. 159-165.
3. Nacsa J., Kovács G. L.: Some problems of knowledge based control of manufacturing systems using open communication. In: X. AIENG '95. Udine, Computational Mechanics Publications, 1995. pp. 349-356.
4. Nacsa J., Kovács G. L.: A system to assist robotized welding for SME's. In: 3rd IFAC/IFIP/IFORS workshop on intelligent manufacturing systems. IMS '95. Preprints. Vol. 2. Bucharest, IFAC, 1995. pp. 381-386.
5. Kovács G.L., Nacsa J.: Towards intelligent and open control of manufacturing systems. In: 3rd IFAC/IFIP/IFORS workshop on intelligent manufacturing systems. IMS'95. Preprints. Vol. 1. Bucharest, IFAC, 1995. pp. 165-169.
6. Nacsa, J.: MMS Communication in a Robotized Welding Application, 5th Int. Workshop on Robotics in Alpe-Adriaa-Danube Region, RAAD'96, June 10-13, 1996, Budapest, Hungary, Proceedings Ed. I.J.Rudas, pp.235-238
7. Kovács, G.L., Nacsa, J.: Application of Knowledge Based Control for an Integrated Robotized CAD/CAM Arc Welding System, Proc. of the 12th Int. Conf. on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future, Middlesex Univ, London, 14-16. August, 1996, pp. 381-386.
8. Kovács, G.L., Nacsa, J.: Some Communication Problems of KB Controlled Manufacturing Systems, Proceedings of the 27th International Symposium on Industrial Robots, 6-8 Oct. 1996, Milan, Italy pp. 829-834.
9. Haidegger G., Nacsa J., Bausz I.: Applying SERCOS Industrial Control Network for OSACA Based CNC-s, Proc. of Symposium on Fieldbus Systems and Application Technics, Budapest, Hungary 1997 Febr. 17-19, pp. 85-92
10. Nacsa J., Haidegger G.: Built-in Intelligent Control Applications of Open CNCs. In: Proc. of the Second World Congress on Intelligent Manufacturing Processes and Systems, Budapest, 1997 June 10-13., Springer, pp. 388-392
11. Kovács G.L., Nacsa J.: Some Communication Problems of KB-controlled Manufacturing Systems. Engineering Application of Artificial Intelligence (Elsevier Science Ltd.), Vol. 10, No. 2, pp. 225-230, 1997.
12. Nacsa, J.: An Open Communication Interface for Arc Welding Robots. In: Proc. of 7th Int. Conf. on Computer Technology in Welding, San Fransisco, USA, 1997 July 8-11, American Welding Society
13. Amezaga J., Barg J., Brühl J., Lutz P., Nacsa J., Pohl M., Sozzi M., Wälde K., Zulauf P.: OSACA Handbook, OSACA Association, Stuttgart, Germany, 1997
14. Kopácsi S., Kovács G.L., Nacsa J., Haidegger G., Drozdik Sz., et al.: Assessment of the OAC/MOS of Ver. 1.0, LCC Ltd. 1997 September

15. Haidegger G., Nacsa J.: Shop-Floor Communication With OSACA-Compliant Controllers, In: Proc. of the IEEE Workshop on Factory Communication Systems, Barcelona, Spain, 1997 Oct. 1-3, pp. 355-362
16. Nacsa J., Haidegger G., Kovács G. L.: Intelligent Control Applications of Open CNCs Using G2, Proc. of the Mexican-Hungarian Workshop on Factory Automation and Material Sciences, Budapest, 25-29 May, 1998, pp. 74-82.
17. Nacsa J.: G2 Based Advisory System at the 400/120 kV Substation of the Paks Nuclear Power Plant, Preprints of the 2nd Mexican-Hungarian Workshop on Factory Automation and Material Sciences, Queretaro, Mexico, 9-10 March 1999, pp. 109-115; also appeared in Gensym Web Site as a Success Story: http://www.gensym.com/expert_operations/PAPERS/Nacsa.html
18. Nacsa J., Kovács G. L.: An Integrated CAD/CAM System for Robotized Arc Welding, Studies in Informatics and Control, Vol/8 No/1, March 1999, pp.7-18.
19. Nacsa J., Kovács G. L., Kopácsi S.: Intelligent Applications at the 400/120 kV Substation of the Paks Nuclear Power Plant, IEEE Power Tech Conference, August 29-September 2, 1999, Budapest, CD-ROM Proceedings,
20. Nacsa J.: Intelligent Machine Tools based on the Gensym's FIDA Technology – A Vision, Gensym User Society Annual Meeting, Barcelona, 2000, CD-ROM
21. Kovács, G. L., Haidegger G., Nacsa J.: Some Problems of Intelligent Control of Open CNCs and Manufacturing Cells, plenary paper, Preprints of the IFAC Symposium on Artificial Intelligence in Real-Time Control (AIRTC), Budapest, 2000 October 2-4, pp. 21-28.
22. Nacsa J., Kovács G. L.: Alert State Detection and Switching Order Generation at a 400/120 kV Substation using Knowledge Server, ISAP2001 Conference. (Intelligent Systems Application to Power Systems), Budapest, 18-21 June, 2001
23. Nacsa J.: Comparison of three different open architecture controllers, IFAC MIM, Prague, 2-4 Aug. 2001, (accepted)
24. Nacsa J.: Logical Communication Levels in an Intelligent Flexible Manufacturing System, IFIP Prolamat, Budapest, 7-10 Nov. 2001 (accepted)
25. Nacsa J.: Intelligent Open CNC System Based on the Knowledge Server Concept, IFIP Prolamat, Budapest, 7-10 Nov. 2001 (accepted)