

MISKOLCI EGYETEM DOKTORI (PHD) TÉZISFÜZETEI

HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

Esztergálási műveletek kiterjesztett számítógépes szimulációja intelligens módszerek alkalmazásával

KÉSZÍTETTE:

HORNYÁK OLIVÉR

OKLEVELES GÉPÉSZMÉRNÖK

AKI DOKTORI (PHD) FOKOZAT ELNYERÉSÉRE PÁLYÁZIK

MISKOLC, 2002

Bíráló bizottság tagjai

Elnök:

Dr. Tisza Miklós

a műszaki tudomány doktora

Titkár:

Dr. Kovács László

PhD

Tagok:

Dr. Horváth Mátyás

a műszaki tudomány doktora

Dr. Kovács György

az MTA doktora

Dr. Berta Miklós

a műszaki tudomány kandidátusa

Dr. Vadász Dénes

a műszaki tudomány kandidátusa

Hivatalos bírálók:

Dr. Mátyási Gyula

a műszaki tudomány kandidátusa

Dr. Csáki Tibor

a műszaki tudomány kandidátusa

1. BEVEZETÉS, TUDOMÁNYOS CÉLKITŰZÉSEK

A gépgyártásban a fém alkatrészek közel 80 százaléka ma is forgácsolással készül. Ennek legfontosabb oka, hogy a forgácsoló szerszám egyszerű, az alakképzés folyamata a szerszámgépen, modell alapján, mozgásleképzéssel vezérelhető. A forgácsolással elérhető geometriai pontossággal és alakhúséggel más technológiák gyakran nem versenyképesek.

A modern gyártás megköveteli az automatizált folyamatok fölötti teljes kontrollt. A gyártórendszereket kis volumen, a termékek sokfélesége, szűk tűrések és magas minőségi követelmények jellemzik. A rendelkezésre álló infrastruktúra hatékony kihasználása magas fokú informatikai támogatást igényel. Felismerték, hogy a számítógéppel integrált gyártás (CIM) a versenyképesség hatékony alapja. A konstrukciós tervezés (CAD), a számítógéppel támogatott technológiai tervezés (CAPP) valamint a termeléstervezés és irányítás (PPS) integrációja lényegessé válik, különösen párhuzamos mérnöki tevékenységek esetén. A számítógéppel támogatott műszaki tervezés területét a CAE fogalma fogja össze.

A termékek rövidebb életrétege megkívánja a gyártórendszer nagyfokú rugalmasságát a piac változásainak követése érdekében. A termékek rövidebb életrétege lerövidíti az új gyártórendszerek kifejlesztésének, illetve a meglévők átkonfigurálásának az idejét.

Az NC programozás feladatainak jelentőségét elsősorban az elkészített programok nagy száma jelzi. Valójában ez egy interdiszciplináris műszaki tevékenység, amely egyrészt alkalmazott informatikai ismereteket, másrészt az NC technológia ismeretét kívánja meg. Ilyen területek: az NC programozás (NCP), a CAPP, a számítógéppel segített tervezés és gyártás (CAD/CAM), illetve a folyamatok számítógépes szimulációja, ami geometriai modelleket, számítógépi algoritmusokat és grafikus animációt igényel.

Az informatikai támogatás – és így a szimulációs feladatok – fontos eleme a gyártási folyamatokat leíró menedzser-indexek pontos és megbízható becslése. Ide tartoznak például a megmunkálási idők, a költségek, gyártmány minőségi jellemzői, stb.

A Miskolci Egyetem Alkalmazott Informatikai Tanszékén folyó kutatómunka célja és az értekezés elkészítésének alapvető feladata volt hozzájárulni ahhoz a világszerte folytatott kutatómunkához, amely a megmunkálások szimulációjának új szolgáltatásokkal való kiterjesztését szolgálja. A disszertáció szűkebb értelemben vett célja áttekinteni az NC szimulátorok háttérét, jelenlegi szolgáltatásait és a velük szemben támasztott igényeket. A értekezésben ismertetem az NC szimulátorok egy lehetséges új koncepcióját, amely a hagyományos szimulációs feladatokon túlmutató szolgáltatásokat nyújt mesterséges intelligencia módszerek alkalmazásával.

Bemutatásra kerül a szerző által objektum orientált módszerekkel kifejlesztett szimulátor, amely egy lehetséges módszer az ismertetésre kerülő koncepció megvalósításra, így hozzájárul a forgácsolás témakörében, technológiai intenzitás alapú optimalizációs módszerek területén végzett kutatásokhoz.

2. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK

A forgácsolás elméletének igen szerteágazó irodalma van. A tudományos alapokat olyan kutatók fektették le a múlt század első felében, mint *Taylor* vagy *Merchant*. A forgácsoláselméleti kutatások során a kidolgozott modelleket célszerűen öt csoportba sorolhatjuk:

- analitikus,
- numerikus,
- mesterséges intelligencia alapú,
- prediktív (tapasztalati megerősítést kívánó) és
- valószínűségi/sztochasztikus modellek.

A forgácsolási folyamatok modellezésének több célja lehet, például:

- folyamatok tervezése,
- folyamatok optimalizálása,
- folyamatok adaptív vezérlése,
- folyamatok szimulációja,
- berendezés-tervezés.

Folyamattervezésnél sokszor egyszerű modellek is megfelelőek, amelyek segítségével kiválaszthatók, milyen műveletek, milyen szerszámok, és milyen szerszámanyagok szükségesek. A folyamatok optimalizálásához jóval összetettebb modellekre van szükség. Az ilyen modellek egy része csupán a megmunkálás technológiai szempontjait vizsgálja, míg más modellek a gazdasági szempontokat is figyelembe veszik.

A téma jelentőségét mutatja, hogy a CIRP 1997-ben munkacsoportot hozott létre „*Modelling of Machining Operations*” néven, amely 1998-ban átfogó jelentést tett közzé. Az erre alapozott előadás az 1998-as CIRP konferencián *Keynote Paper*-ként szerepelt.

1.1. HAZAI KUTATÁSI EREDMÉNYEK

A magyar gépipar és a szerszámgyártás gyökerei az 1930-as évekre nyúlnak vissza. Az 1950-es évektől a *Csepeli Szerszámgyár* és a *Szerszámgyép Ipari Művek* a nemzetközi piacon is jó nevet szereztek. A magyar NC gépgyártás az 1970-es és 80-as években igényelte a hazai kutató fejlesztő munkát mind a gazdaságos forgácsolás, mind az NC programozás területén.

A hazai kutatómunka fő bázisai:

- Gépipari Technológiai Intézet (GTI),
- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME),
- Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézete (MTA SZTAKI),
- Miskolci Egyetem (ME).

A hazai kutatások egyik tekintélyes alakja volt *Hatvany József*, aki az intelligens gyártás fogalmát megalkotta. A forgácsolási és a számítógépes technológiai tervezés kutatásai a GTI-ben folytak (*Szmejkál Attila, Tóth Tibor és Vadász Dénes*.) Itt dolgozták ki az első, magas teljesítőképességű NC programozó rendszert is *Horváth Mátyás* irányításával (FORTAP, 1970-75). A hetvenes évek második felében a BME Gépgyártástechnológiai Tanszéken a GTI-ből a tanszék élére került *Horváth Mátyás* professzor és munkatársai eredményei emelkedtek ki. A folyamattervezés és forgácsolási paraméterek optimalásával foglalkozott *Horváth Mátyás, Somló János*, valamint *Tóth Tibor* és *Detzky Iván* a ME Gépgyártástechnológia Tanszékén. A forgácsolási műveletek számítógépes támogatására készültek a TAUPROG T CAPP rendszerek. Ezek az esztergálási műveletek igen részletes modelljét tartalmazzák (*Tóth Tibor, Vadász Dénes*). Szerszámkopást modellezett felügyeleti céllal *Bali János, Markos Sándor, Mészáros Imre* és *Reith János*.

Az MTA SZTAKI-ban nagy jelentőségű kutatások folynak különböző gyártási témakörökben, intelligens módszerek alkalmazásával. Kiemelkedő eredményeket ért el *Monostori László*. Vezetésével számottevő eredmények születtek a digitális jelfeldolgozáson és alakfelismerésen alapuló többfunkciós felügyeleti rendszerek kutatása és fejlesztése terén. Neuro-fuzzy felügyeleti problémákkal foglalkozott *Monostori László* és *Egresits Csaba*, intelligens gyártási folyamatokat modellezett neurális hálókkal *Viharos Zsolt*. Ágens alapú gyártórendszerek kérdéseit vizsgálta *Monostori László* és *Kádár Botond*.

A számítógéppel integrált gyártás területén AI módszerekkel végzett jelentős kutatásokat *Váncza József* és *Márkus András*. Intelligens nyílt NC vezérlésekkel foglalkozott *Kovács György, Nacsa János, Haidegger Géza* és *Drozdik Szilveszter*. A felügyelet, az NC vezérlés és a gyártórendszerek irányításának területén a ME Szerszámgépek tanszéken végzett kutató munkát *Erdélyi Ferenc, Csáki Tibor* és *Sántha Csongor*.

3. A KUTATÁS MÓDSZEREI

A kutatómunka során figyelembe kellett vennem a téma interdiszciplináris jellegét. Ez felöleli a gépgyártástechnológia, a gyártásirányítás, a mesterséges intelligencia módszerek és az információ technológia egyes területeit.

A gyártásirányítás célja általában a termelési folyamatok optimális irányítása gyakran változó erőforrás feltételek, feladatprioritások és üzleti célok között. Ez a definíció jól érzékelteti az irányítási feladat nehézségi fokát, különösen akkor, ha tudjuk, hogy az irányított szakasz (a műhely vagy gyártórendszer szintű termelési folyamat) nemlineáris, nem stacionárius, sok paraméterrel és sok állapotváltozóval modellezhető. Számos korlátozó feltételt kell figyelembe venni, és a célfüggvények is összetettek. Ha a modellparaméterek és/vagy a célok időben változnak, becsléseket és dinamikus újra-tervezési módszereket kell használni. Ilyen esetben a hagyományos modellek alkalmazására csak kevés esély van, mert a megoldások megtalálására csak korlátozott idő áll rendelkezésre.

Az üzem, gyártórendszer termelési „teljesítményét” menedzser indexek mérhetik. Ezek között elméleti szempontból is kiemelkedő szerepe van háromnak, amelyek:

- az erőforrások kihasználtsága,
- a szállítókészség, azaz a határidő betartása,
- a készletek vagy a folyamatban lévő munkák szintje (WIP level).

Ezek mellett természetesen számos közvetlen költségdimenziójú mutató vagy más üzemi jellemző, jellegzetesen a gyártás minőségét leíró paraméterek is szerepet játszhatnak az irányításban.

A nehézségek áthidalására a számítógépes modellezés általános, sikeres módszerei nyújtanak reményt. Ilyen módszerek az alábbiak:

1. Az objektum orientált modellezés következetes alkalmazása.
2. Az AI módszerek alkalmazása a nemlinearitások kezelésére.
3. Az állapotegyenletek használata a dinamikus folyamatleírásra.
4. A komponensekre épített szoftverfejlesztés.
5. A grafikus szemléltetés és az interaktív ember-gép együttműködés kihasználása.

Az esztergálási műveletelemek részletes folyamat modelljére számos korábbi technológiai és NC programozó rendszerben készültek modellek. Különösen a generatív és a vario-generatív művelettervező alkalmazások tartalmazzak ilyeneket.

Az általam kidolgozott modell 3 lényeges tulajdonságában tér el a korábbiaktól. Ezek a következők:

- Az anyagleválasztás geometriájának modellezésében a térfogati modell és a forgácsolási intenzitás alkalmazásának elvét követi, és a megtervezett NC program pontos szerszám pálya adataira támaszkodik.
- A technológiai jellemzők tekintetében a nemlineáris modellrészeknél AI módszereket, főként neurális hálót használ.
- A műveletelemek aggregálható (integrálható) indexeit, amelyek kulcsfontosságúak a műveletek gazdasági-menedzseri értékeléséhez, numerikus integrálási módszerekkel viszonylag pontosan állítja elő.

Ezek a hagyományos szimulációs feladatokon túlmutató, kiterjesztett szimulátorok alapját képezik.

Az értekezésben kidolgoztam az esztergálási műveletelem szimulációra alkalmas modelljét:

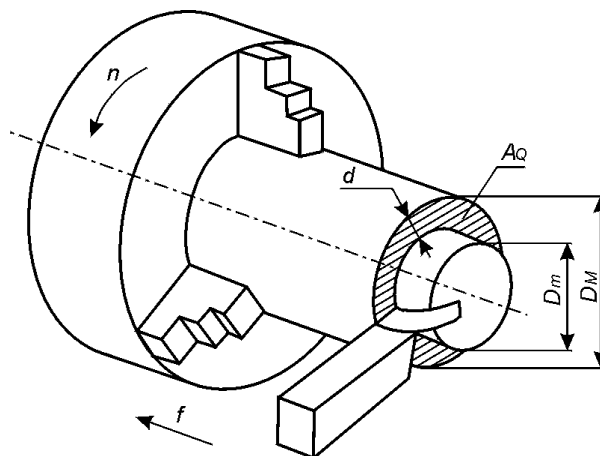
- geometriai,
- kinematikai,
- dinamikai,
- technológiai és
- műszaki-gazdasági aspektusokat figyelembe véve.

Rámutattam a technológiai intenzitás jelentőségére a robusztus NC programok generálásánál és támaszkodtam a Miskolci Egyetem Alkalmazott Informatikai Tanszékén ezen a területen elért eredményekre.

Újraértelmeztem a technológiai intenzitás meghatározását és definiáltam a forgácsolási hatáskeresztmetszet fogalmát a következőképpen:

Forgácsolásnál a szerszám származtató felülete által meghatározott szerszámtest a szerszám pályán halad. A szerszámtestet a pillanatnyi előtolás irányára merőleges síkra vetítve, az fedésbe hozható a munkadarab aktuális anyagi kiterjedését jellemző ugyanezen síkbeli alakzattal. A két alakzat közös metszete a pillanatnyi forgácsolási hatáskeresztmetszet.

A hatáskeresztmetszet és az előtoló sebesség szorzata a technológiai intenzitást adja, ugyanúgy, mint a forgácskeresztmetszet és a vágósebesség vagy a három klasszikus forgácsolási paraméter: a fogásvétel, előtolás és a vágósebesség szorzata. Ezzel a technológiai intenzitás három, egymással egyenértékű felírási módja adódik. Szimulációs feladatokhoz, különösen többélű szerszámmal végzett megmunkálások esetén a technológiai intenzitás hatáskeresztmetszet alapú felírása előnyösebb.



1. ábra A forgácsolás hatáskeresztmetszete esztergálásnál

A folyamatot leíró nemlineáris paraméterek kezelésére kidolgoztam egy többszintű, hibrid neurális háló modellt.

Az első szinten az alapvető geometriai és technológia állapotváltozók kerülnek kiértékelésre. Ezeket a paramétereket a szimulátor számítja a matematikai modell összefüggései alapján.

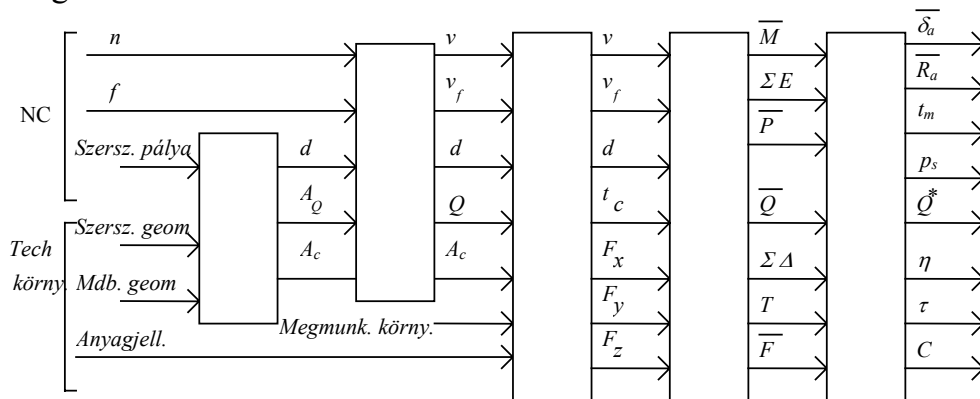
A második szinten az összetett determinisztikus állapotváltozók aktuális értékei kerülnek meghatározásra. Ezzel a geometriai folyamatmodellezés véget ér.

A harmadik szinten a forgácsoló erők aktuális értékének becslése a legfontosabb feladat. Ezt a feladatot neurális háló, valamint empirikus összefüggés alapján több módszerrel is számíthatja a szimulátor modellje.

Az erők ismeretében a negyedik szinten a forgácsoló nyomaték, a forgácsoló teljesítmény és a felhasznált energia számítása lehetséges. Ez utóbbi már integrált jellemző, mint ahogyan ilyen a műveleti idő is. Számítható a halmozott szerszámkopás, a még hátralévő éltartam, az átlagos és a maximális főforgácsoló erő, stb.

Az utolsó, ötödik szinten a menedzser indexek aktuális értékei és a technológiai jellemzők aggregált vagy átlagos értékeit számítjuk.

A szimuláció végén ezek a művelet minden gyártásirányítás szempontjából fontos tulajdonságát tartalmazzák.



2. ábra A többrétegű forgácsolási folyamat modell

A kidolgozott modellek alapján korszerű szoftverfejlesztői eszközökkel, objektum orientált módszerrel kifejlesztettem a kiterjesztett szimulátor szoftvert. A szoftvertechnológiai modellezés a *Unified Modeling Language* (UML) specifikációnak megfelelően történt. A szoftvert Windows operációs rendszer alá C++ programozási nyelven fejlesztettem.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A tézisekben az elért eredményeket, állításokat dőlt betű jelzi. A további szöveg magyarázatnak, felvetésnek tekintendő.

1. tézis: A kiterjesztett szimuláció koncepciója

A robusztus és alternatív technológiai tervezésben, valamint a CAPP-PPS-MES integráció megvalósításában egyre nagyobb igény jelentkezik a forgácsolási műveletek műszaki-technológiai-gazdasági jellemzőinek gyors, megbízható meghatározására. Ennek az igénynek a kielégítésére *kidolgoztam a kiterjesztett szimulátor koncepcióját.*

A számítógépes NC programtervező alkalmazások az NC forgácsolás teljes geometriáját modellezik, és ennek a modellnek csaknem 100 százalékát az NC programba kódolják. Kiegészítve ezt az információhalmazzt a nyersdarabra, a szerszámra és a gépre vonatkozó információkkal, *AI módszerek alkalmazásával olyan kiterjesztett szimulációs program hozható létre, amely a művelet technológiai-gazdasági eredményeire az eddigieknél pontosabb információt ad.*

A koncepció az NC programozás ismert makró technikáját, a paraméteres programozást, az intenzitás alapú anyagleválasztás szemléletét és a szerszám gép felügyeleti technikáknál bevált AI módszereket ötvözi az objektum orientált szoftvertechnológiával.

A kiterjesztett szimuláció koncepciója növeli a rugalmas és hatékony gyártásirányítás mozgásterét, és kihasználja a számítógépes integráció eszköztrendszerét.

2. tézis: A technológiai folyamatmodellezés és a geometriai modellezés összekapcsolása AI modellekkel

A kiterjesztett szimuláció feladatainak megoldásához módszert kellett kidolgozni a forgácsolási folyamatok kiterjesztett modellezésére.

Rámutattam arra, hogy az elkészült NC program kódolt formában tartalmazza a modellezéshez szükséges geometriai információk csaknem teljes körét, így indokolt erre alapozni a szimulátor modelljét.

A technológiai állapotjelzők és a menedzser indexek megbízható modellezésére többszintű, hierarchikus struktúrájú, backpropagation betanítású, neurális háló alapú modellt dolgoztam ki. Ez a modell alkalmas a forgácsolási folyamatot kísérő összes jelenség leírására. Az első hierarchiai szinten a forgácsolás alap paramétereit, a második szinten az összetett állapotváltozókat, a harmadik szinten a forgácsoló erőt, a negyedik szinten a szerszámkopás folyamatát, a felhasznált energiát, a műveleti időt számítja a modell. Végül a legfelső szinten, a menedzser indexekre ad becslést a szimulátor egy második neurális hálóval.

A többszintű hierarchikus modell lehetővé teszi, hogy a belső állapotváltozókat, forgácsolási paramétereket és indexeket különböző

gyakorisággal számítsa a szimulátor. Ez a szimuláció futási idejének hatékonysága szempontjából fontos.

3. tézis: Az intenzitás alapú folyamattervezés szimulációs támogatása

A technológiai műveletek műszaki gazdasági megítélésének pontosabb és hatékonyabb módszerei fontos szerepet kapnak a rugalmas és integrált gyártásban. Ezt az integrációt támogatja a technológiai intenzitás fogalma, amelynek nyomon követése a gyártásirányítás döntési hatókörét kiterjeszti. A kiterjesztett szimulátor szolgáltatásainak növelése érdekében *újradefiniáltam a technológiai intenzitás meghatározásának módszerét, és bevezettem a forgácsolási hatáskeresztmetszet fogalmát.* Ily módon esztergálásnál az intenzitás 3 egyenértékű számítási modellje adódott, amely az intenzitás értékének felhasználását a technológiai tervezésben és a gyártásirányításban még szélesebb körűvé teszi:

$$Q = A_Q \cdot v_f = v \cdot f \cdot d = A_c \cdot v.$$

Kifejtettem a hatáskeresztmetszet alapú megközelítés előnyét többelű szerszámmal végzett forgácsolás esetére.

Rámutatam a direkt és indirekt tervezési és irányítási feladatok szimulációs támogatásának lehetőségére, definiáltam a maximális és minimális intenzitás új határértékeit.

Bevezettem a műveletelemek és a műveletek gyártásirányítási hatásfokának fogalmát, amely az átlagos és az optimális intenzitás hányadosaként állítható elő a szimulátorral.

Az intenzitás határértékeinek, illetve az átlagos és az optimális intenzitás viszonyának ismerete feltárja a gyártás idő és költségtartalékait, amelyek a MES szintjén hasznosíthatók.

4. tézis: A kiterjesztett szimulátor létrehozása

Az objektum orientált módon fejlesztett szoftver együttműködő statikus és dinamikus objektumokkal modellezhető. Az objektumok egy része magát a folyamatot írja le, ezek általában dinamikus objektumok. Bizonyos objektumokra pusztán informatikai szempontból van szükség, ezek támogatják a folyamat szimulációjának számítógépi megjelenítését.

A kidolgozott koncepció alapján *megterveztem és megvalósítottam az esztergálási műveletek új, kiterjesztett számítógépes szimulátorát. A szimulátort objektum orientált szoftvertechnológia alkalmazásával valósítottam meg. Rámutatam, hogy az NC program által hordozott információ átranzformálható megválasztott dinamikus entitások szekvenciális sorozatává. Ez a dekompozíció általánosítva alkalmas*

tetszőleges, szekvenciálisan leírható jelenség objektum orientált modellezésére.

A szimulátor kimenetként a felállított modellek alapján új állapotváltozókat, ezek integrális, átlagos és maximális értékeit, valamint a művelet minősítésére alkalmas menedzsment indexeket állít elő.

5. HASZNOSÍTHATÓSÁG, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Értekezésemben az NC szimulátorok továbbfejlesztésének lehetőségével, a hagyományos szimulációs feladatok kiterjesztésével foglalkoztam. Az összefoglalt tudományos eredmények a Miskolci Egyetem Alkalmazott Informatikai Tanszékén folytatott kutatásokhoz csatlakoznak.

Az elért eredmények a következő projektben kerültek közvetlenül felhasználásra:

1. *Gyártási folyamatok objektum orientált modellezése,*
Felsőoktatási Kutatási Fejlesztési Pályázat,
azonosító: 0275,
projektvezető: Dr. Erdélyi Ferenc.
2. *Digitális vállalatok,*
Széchenyi-terv Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Program,
azonosító: 2/040/2001.

Az értekezés eredményei a műszaki gyakorlatban is hasznosíthatók. A megvalósított szoftvert esztergálási műveletekre dolgoztam ki. Ez fontos eszköze lehet a CAPP-PPS-MES integrációnak. Ebben az integrált környezetben jelentkező direkt és indirekt feladatokat támogatja a szimulátor. Gyakorlati alkalmazásokhoz szükséges lehet a különböző poszt-processzorokkal generált kód interpretálásának lehetősége, illetve egy univerzális interpreter kidolgozása.

A szimulátor könnyen kezelhető grafikus felülete miatt a graduális képzésben is felhasználható a „*Számítógépes gyártásirányítás*” című tárgy keretein belül.

A továbbfejlesztés egyik lehetséges iránya a felállított AI modellek validálása jól megtervezett forgácsolási kísérletek segítségével. A szimulátor adatbázisa alkalmas relációs szerszám adatbázisokon keresztül *Tool Management System*-hez való kapcsolódásra. Az ilyen irányú integráció gyakorlati szempontból is hasznos lehet. Hasonlóan előnyös lehet a DNC szerverekkel való integráció megvalósítása is.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK

- [1] **Hornyák, O.:** *NC program ellenőrző szimulátor fejlesztése.* Diplomamunka, 1997. p. 80.
- [2] **Hornyák, O.:** *Szoftverek minőségbiztosítása paradigmák használatával.* Fiatal Műszakiak Tudományos Ülészaka, Kolozsvár, 1998. márc. 20-21., pp. 97-99.
- [3] **Hornyák, O.:** *Gépészeti szimulációs feladatok támogatása mai szoftverfejlesztő eszközökkel.* Magyar Tudomány Napja, Doktoranduszok Fóruma, Miskolc, 1998. nov. 6., pp. 23-27.
- [4] **Hornyák, O.:** *Object Oriented Design of NC Part Program Simulation Software for Virtual Manufacturing.* MicroCAD'99 International Computer Science Conference, Miskolc, February 24-25, 1999., pp. 91-95.
- [5] **Hornyák, O.:** *Object Oriented Software Engineering for Simulation of NC Machining Operations,* X Workshop on Supervising and Diagnostics of Machining Systems. Innovate and Integrated Manufacturing, 1999., pp. 96-102.
- [6] **Hornyák, O.:** *Advanced Simulation of NC Machining Operations,* 2nd International Conference of PhD Students, Miskolc, 8-14 August 1999., pp. 111-226.
- [7] **Hornyák, O.:** *Gyártási folyamatok szimulációs modelljei.* Magyar Tudomány Napja, Doktoranduszok Fóruma, Miskolc, 1999. nov. 5., pp. 18-21.
- [8] Erdélyi, F., **Hornyák, O.:** *Overview of the Possibilities of NC Simulation for Computer Aided Manufacturing.* MicroCAD' 2000 International Computer Science Conference, Miskolc, February 23-24 2000., pp. 49-54.
- [9] Erdélyi, F., **Hornyák, O.:** *Simulation tools for supporting robust process planning in the field of NC turning.* Proceedings 3rd Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration, June 2001, pp. 27-29.
- [10] Erdélyi, F., **Hornyák, O.:** *Virtual Manufacturing for Supporting Robust Process Planning in the Field of NC Machining.* MicroCAD'2001 International Computer Science Conference, Miskolc, March 1-2, 2001., pp. 61-68.
- [11] Erdélyi, F., **Hornyák, O.:** *NC Program Simulation with the Capability of Generating Alternative Process Plan for Flexible Manufacturing.* 11th Prolamat 2001 Conference on Digital Enterprise, Budapest, 2001. Nov. 7-10. Kluwer Academic Publishers, pp. 43-50.
- [12] Erdélyi, F., **Hornyák, O.:** *NC programok kiterjesztett számítógépes szimulációja.* MicroCAD'2002 International Conference. 2002., pp. 65-70.
- [13] Erdélyi, F., **Hornyák, O.:** *Szimulátorok a termelésinformatika oktatásában* Informatika a Felsőoktatásban 2002, Debrecen, 2002. augusztus 28-30., pp. 224-230.
- [14] Erdélyi, F., **Hornyák, O.:** *Extended Simulation Approach for NC Turning Operations.* The Tenth International Conference on Machine Design and Production. 4 - 6 September 2002, Cappadocia, Turkey, pp. 153-164.