

Bírálat

Darányi András Pál

Gépi tanulás alapú ipar 4.0 megoldások fejlesztése szerszám menedzsment támogatása érdekében című doktori (PhD) értekezéséről

Bevezetés

A dolgozatot, a tézisfüzetet, a publikált cikkek listáját email mellékletben kaptam meg az Egyetemtől. Korábban már megkaptam a Pannon Egyetem doktori szabályzatának dokumentumait, de azok terjedelme elijesztett, így csak a „követelmények összefoglalása” nyolc oldalas dokumentumot olvastam el amikor tavaly decemberben elkészítettem ennek a dolgozatnak előzetes – házi védésre készített - változatát.

Továbbra sem tudom megítélni, hogy a Jelölt publikációi, leosztva a társszerzőkkel, esetleg a témavezetőket kihagyva, ahogy egyes egyetemeken ez megtehető, elegendő publikációs tevékenységet eredményez-e, és ugyancsak nem tudom, hogy a Jelölt a beadáshoz a társszerzői nyilatkozatokat mellékelte-e. Így ezekben a kérdésekben nem kívánok állást foglalni.

Emiatt az az értekezésről készített opponensi véleményem kizárólag az írott disszertációra vonatkozóan tudom alapozni és minősíteni.

Több olyan változtatást vettem észre a korábbi házi védésre készült változathoz képest, amelyek az akkori megjegyzéseimre reflektáltak, őszintén szólva ez jól esett.

Időszerűség.

Időszerű a dolgozat témája, a szerszám menedzsment a gyártórendszerekben örök téma és az Ipar 4.0 lehetőségei, különösen a gépi tanulást illetően ígéretes újszerű megoldásokat jelenthetnek.

Felépítés.

A dolgozat öt fejezetből áll, irodalmi hivatkozások nélkül 85 oldal. A bevezetést és az általánosabb irodalmi kitekintést adó első fejezet után a 2-3-4 fejezetek a leendő három tétel problémafelvetését és megoldását adják. Az utolsó ötödik fejezetben mondja ki a Jelölt három tételét.

A dolgozat felépítése logikus, segít az olvasónak rövid bekezdésekkel, hogy miről fog olvasni, mire számíton, hogyan kapcsolódik az egészhez a következő rész. Mindhárom tézist tartalmazó fejezetet kitekintéssel zárja.

1. fejezet – Bevezetés és motiváció

- Az 1.1.1 fejezet jól bemutatja a szerszámmenedzsment problémakörét, a 22 hivatkozott cikk mind keletkezésük alapján (1984-2024), mind témájukban kellően szélesek, és jól igazolják, hogy a probléma sokrétű és régóta tárgyalt.
- Az 1.1.2 fejezet elegendő Ipar 4.0 ismertetést és referenciát nyújt, de mivel az Ipar 4.0 fogalom szerepel a dolgozat címében is hiányolom, hogy nem definiálta pontosan, hogy számára pontosan mitől Ipar 4.0 egy megoldás. Ezt azért tartom fontosnak, hogy világos legyen a továbbiakban, hogy a Jelölt saját eredményei teljesítik az Ipar 4.0 kritériumait.
- Az 1.1.3-ban részletesen és pontosan mutatja be a hagyományos szerszám menedzsment nehézségeit és korlátait. Az előbbi pontban említett definíció hiányában viszont inkább szlogennek tartom az 1.1.3 utolsó mondatát: „Mindezen kihívások miatt az Ipar 4.0 keretrendszer integrálni kell a szerszámkezelésbe.”
- Az 1.1.4-ban sok értékes észrevételt gyűjt össze az irodalomból. Érzésem szerint lehetne kritikusabb az olvasottakkal. Csak egy példa, hogy milyen kritikákra gondolok [52]: „Ha rendelkezésre állnak történeti adatok, a gépi tanulás és a mélytanulási algoritmusok betaníthatók a szerszám élettartamának előrejelzésére ill. azonosítani lehet a hibákat.” De hát pontosan tudjuk, hogy lényegében soha nem állnak rendelkezésre, különösen elegendő számban, így – szerintem – a hivatkozott cikk állítása nekem túl elméleti.
- Az 1.2 fejezet az 1.1-es bevezető után világossá teszi a három célzott területen milyen megoldást fog a Jelölt bemutatni, ez nagyon tetszik, sok dolgozat nem tartalmaz ilyen világos leírást. Lehetne még hangsúlyosabban kereszt-hivatkozni a Jelölt 5 cikkére, hogy a három tézis melyik cikkben/cikkekben lett publikálva.

2. fejezet – Szerszámkiosztás többcélú hierarchikus klaszterezéssel

Ez a fejezet az első tétel részletes bemutatása, elöljáróban alapos és jól érthető. Struktúrájában a konkrét feladathoz szorosan kapcsolódó irodalmazást, ezután az elméleti modellt, amely az új eredmény magva, majd pedig esett tanulmányt és annak megállapításait tartalmazza.

- A 2.1 táblázat nagyon fontos az érthetőség miatt, és ebben a változatban már meg is értettem az egyes változók jelentését és a későbbi egyenleteket is helyesnek tartom.
- A fejezet ábrái, táblázatai jól szemléltetik és követhetővé teszik az eljárást, amelyet jónak és működőképesnek értékelek.
- Szerintem a 2.2-ben használt adathalmazokat anonimizálva érdemes lenne szabadon elérhetővé tenni, hogy más eljárásokkal is össze lehessen vetni.
- A fejezet elején (2.1.1) írja: “a modell statikus, és az optimalizálást csak egy bizonyos időszakra értelmezhető”, ezért kérdezem, hogy a valós példában ez mit jelentett? Illetve általában egy valós vállalatnál jelent-e ez a statikusság tényleges korlátot, ami megkérdőjelezi a modell használhatóságát? Hogyan lehet ezt egzaktabbá tenni?

- Értékesnek tartom a 2.3-ban röviden leírja, milyen feltételek elhagyásával lehetne tovább kutatásokat végezni.

3. fejezet – Szerszámhasználat felügyelete a pozíció adatok célorientált felügyelt fuzzy klaszterezésével

Ez a fejezet a második tétel részletes bemutatása, a fejezet tematikája hasonló a másodikéhoz.

- A 3.1.1 fejezet probléma leírása érthető, bár a sok változó miatt nagyon kell koncentrálni az olvasásnál, hibát nem találtam a levezetésben.
- A 3.1.2 a szerszám három különböző állapotát adja meg, a leírás itt is érthető.
- A 3.1.3 levezetését meglehetősen nehéz végig bogarászni, de a 38-39. oldalon leírt algoritmus világos.
- Ugyanez a véleményem a 3.1.4 (Zóna kategorizálás és a szerszámkihasználtság kiszámítása) és a 3.1.5 (A klaszterek számának meghatározása) fejezetek esetében is. Nekem túl tömény, így nehezen érthető, ugyanakkor hibát nem találtam bennük. Nagyon hiányzik egy magyarázó ábra egy egyszerűbb esettel, amely végig kíséri a leírást. Mint amilyen például a második fejezetben olyan ügyesen segítette a megértést.
- Nagyon érdekes a 3.2-ben leírt esettanulmány és sokkal érthetőbb a leírás, mint a tavaly olvasott változatban.
- A 3.2.2-ben leírja, hogy miért és mennyi adatpontot hagy el a vizsgálataiból. Meglátásom szerint az adatok 58,5%-át, mint mozgó szerszámot hagy el, holott érdekes lett volna ezek vizsgálata is, mennyire követik az IPS adatok a vélelmezhető mozgást (pl. szerelő állomástól a tárolóhelyre, fordítva vagy két szerelőállomás között). Ezen utak komolyabb vizsgálata az IPS rendszer pontosságáról, késleltetéséről, illetve az egyes tagek által küldött adatok minőségi különbségeiről árulkodhattak volna. Mindezek a Jelölt fő vizsgálatait is értékes szempontokkal egészíthették volna ki.
- A 3.2.3 részben a 0,15-ös küszöbértékre a házi változat bírálatának válaszában pontosabb és nekem érthetőbb indoklást írt, mint ami bekerült a végleges dolgozatba. Idézem az akkori választát: *„Alapvetően 10 olyan klasztert találtunk, ahol a valószínűség 1% feletti. Ezek potenciálisan gépek lehetnek. Ennek a validálásához érdemes felhasználni az elérhető háttértudást. Ismerjük a pontos layoutot, amely alapján van ismeretünk a gépek elhelyezkedésére vonatkozóan. Ezzel három aktivitással rendelkező klaszter nem volt összhangban, melyek közül 13% a legnagyobb előforduló aktivitás (még a térbelileg is gépként feltételezhető klaszterek között 19% a legkisebb). Ennek okán történt a 15%-os határérték megválasztás.”* A leírt jelenség miatt is használtam volna a szerszámmozgásos adatokat, hiszen lehet, hogy pontatlan tagek okozták ezt a három klaszter hibát, vagy legalábbis a legnagyobb előfordulásút.
- A 3.6-os ábrában zavar, hogy nem jelöli be, hogy a 22 klaszterből melyek azok, amelyek gépekhez tartozónak fogad el. Emellett érdemes lett volna jobban elemezni az eredményt, pl. azt, hogy a 3,8 és 10-es szerszám, ha jól olvasom az ábrát –nem került géphez a vizsgált

időszakban., míg öt olyan szerszám volt, ami két gépen is járt, és ebből egy, amely hármon. Ebből a vizsgált időszak hossza és a szerszámok használatának vizsgálhatóságára lehetne érdekes megállapításokat tenni.

- A 3.3 fejezetben hiányolom a továbbfejlesztési lehetőségek felvetését, a fejezethez kapcsolódó kérdéseim ezt próbálják megpiszkálni.

4. fejezet – Kockázat alapú szerszámkarbantartás változó gyártási körülmények között

Ez a fejezet a harmadik tétel részletes bemutatása, a fejezet tematikája követi a korábbiakét.

- A szerszámkarbantartás, ahogy minden karbantartási feladat kritikus egy vállalat életében, lehet úgy tekinteni, mint egy szükséges rossz (termelés veszteség és nagyobb költség), ami nagyobb rossz (leállás) elkerülését Ennek irodalmából ad gazdag merítést a 4.1 fejezet, ahol a 4.1 ábra rögtön érthetővé teszi a javasolt megoldás lényegét.
- A probléma formalizálása nem könnyű, ezt jelzi, hogy a 4.1 táblázat nagyon sok változót vezet be, szerencsés, hogy ezeket csoportosítja a Jelölt.
- A 4.1.1 fejezet modell leírása 9 jellemzőt mutat be és tíz feltételezést tesz. Noha a modell már itt sejteti, hogy nem lesz mögötte valós adathalmaz, szerintem a leírt feltételezések együttesen azért nem távolodnak el teljesen a reális problémáktól, vagyis egyetértek ebben a Jelölttel. Arról persze kételyeim vannak, hogyan szerezhető be az összes szükséges adat egy konkrét valós gyártási környezetben.
- A 4.1.2 és 4.1.3 leírása, modelljei és egyenletei – bár komoly kihívást jelentenek – de követhetők, hibát nem találtam bennük.
- A 4.1.5 címe azt állítja, ha jól értem, hogy a genetikus algoritmus (GA) a legjobb megoldást fogja megtalálni. Ezzel vitatkozom, a GA nem mindig garantálja a globális optimum megtalálását. A „best”-et bizonyítani kellett volna matematikailag, ami nem történt meg.
- Sajnos gyengíti a tézist, hogy a 4.2 szerint csak numerikus példával lett bemutatva a felállított modell, nem pedig valós adatokon. Ugyanakkor a példa adatai jól bemutatják a modelleket és a GA alapú megoldás menetét.
- A 4.3-ban értékelem a reflexiót, hogy valós adatokra, tapasztalatokra lenne szükség. Az is tetszik, ahogy az egyszerűsítés kapcsán felhossa a „perfekt” és a „minimális” karbantartási modelleket. A kihívás olyan valós problémát találni, ahol nem ez a két extrém eset áll elő.

5. fejezet – Konklúziók, a tézisek kimondása

Ezzel a fejezettel is megbarátkoztam, most jobban tetszett, mint a házi változatban.

Zavaró, hogy a 2-3-4 fejezetekben talán elő se fordul az Ipar 4.0 fogalom, itt ismét megjelenik, vagyis visszaköszön, hogy a Jelölt nem definiálta pontosan, az általa vizsgált problémakörben mit is tekint Ipar 4.0 megoldásnak.

Kérdések

2. fejezethez – 1- tézishez

- Hogyan használná a szerszámkiosztási algoritmusát, ha egy új termék jelenne meg a rendszerben? Ilyenkor nem tűnik ésszerűnek az egész újraszámolása.
- Mekkora λ érték változási tartomány mellett adná az algoritmus ugyanazt az eredményt, mint a 0,5 mellett? Lehet ebből valamilyen konkrét következtetést levonni?

3. fejezethez – 2- tézishez

- Tegyük fel, hogy hosszabb ideig lehetne egy gyárban ilyen IPS alapú szerszám megfigyelést végezni, mondjuk N szerszám esetén M tagunk van. Végig ugyanazt az M szerszámot figyelné, vagy javasol valamilyen megfigyelési stratégiát a tapasztalatai alapján?
- A 3.6 ábra kapcsán leírt észrevételemhez kapcsolódóan, tart-e más hosszúságú mérési időszakokat hatásosabbnak a konkrét gyárban? Kifejezetten a mérési időszakok hosszával milyen stratégia alapján érdemes gazdálkodni?

4. fejezethez – 3- tézishez

- Ha nincsen ipari adat, mégis katalógusokból, interjúk segítségével mennyire lehetne életközeli példát konstruálni?
- Hogyan lehetne a modelljét egyszerűsíteni ahhoz, hogy csak annyi információt kelljen egy vállalattól begyűjteni, amit szolgáltatni tudnak, de a modell eredményei mégis jó kockázat alapú szerszámkarbantartási megoldást eredményezzen?

Irodalomjegyzék

A 140 tétel számosságában is lenyűgöző. Egyetlen kritikai észrevételem, hogy a tézisekhez tartozó saját cikkein kívül talán egyetlen egy magyar szerzőségű cikkre hivatkozik, holott a témában az elmúlt negyven évben születtek nívós publikációk pl. a BME, az ME és a SZTAKI műhelyeiben.

Nyelvezet

Saját angol tudásomat nem tartom elégségesnek arra, hogy a Jelölt angol nyelvhelyességét objektíven meg tudjam ítélni, én megértettem az angol szövegét.

Összesített vélemény

A Jelölt értékes munkát tett le az asztalra, kifejezetten szellemi élmény volt a dolgozat ismételt elolvasása. Nyilatkozom a tézisekről:

- Az első és második tézist jelen formájában elfogadom, javaslom mindkettő esetében további kutatását, mert mindkettőben van még benne potenciál.
- A harmadik tézist is elfogadom, de elvont elméleti eredménynek tartom, a gyakorlat szempontjából a leggyengébb, itt a valóság próbáját nem sikerült megmutatni. Az elfogadásomnak az is az oka, hogy amikor az 5. fejezetben kimondja a tételt (84. oldal) ezt írja: „can optimize maintenance”, vagyis nem hangsúlyozza, hogy „best”. Mert egyáltalán nem biztos, hogy azt találja meg a GA, csak egy elég jót. Bízatom a Jelöltet, hogy keressen olyan környezetet, ahol a megcélzott probléma valós és formálja megoldását az ott összeszedhető adatokhoz.

A PhD disszertációt **elfogadásra javaslom**. Támogatom a nyilvános védés megtartását és annak sikere esetén a PhD fokozat odaítélését.

Budapest, 2025. 09. 05.



Nacsa János, PhD