

Opponensi vélemény

Boleraczki Miklós:

Ipari mobil robotok kiválasztási módszerének szakértői rendszer alapú támogatása című PhD dolgozatáról

Témaválasztás

A téma kiemelkedően aktuális, mivel a fejlettnek mondott fogyasztói civilizáció számára gazdasági szempontból kulcsfontosságú, hogy a piac alapjául szolgáló termékeket minél zavartalanabban és hatékonyabban tudja előállítani. Ennek a folyamatos fejlődési kényszernek a fázisait sokféle szemszögből sokféle kifejezéssel ragadhatjuk meg, legyen az ipar 4.0, intelligens gyár, mesterséges intelligencia, és még sorolhatnánk. Ezekben az egyre kifinomultabb és összehangoltabb gyártóegységekben, illetve a bennük zajló gyártási folyamatok automatizálásában és optimalizálásában egyre több szerephez jutnak az ipari mobil robotok. Korábban elsősorban a robotmanipulátorok képviselték a robotikát ezen a téren, de az utóbbi évtizedben fokozatosan megjelentek az autonóm targoncák, kiegészítő mobil robotok is ezen a területen. A megfelelő robot kiválasztása döntő hatással van a termelékenységre, a hatékonyságra és a beruházások megtérülésére, ennél fogva teljességgel életszerű cél az olyan döntéstámogató rendszerek fejlesztése, amelyek objektív és pontos módszerekkel segítik a vállalatokat egy ilyen komplex kiválasztási folyamatok során. Boleraczki Miklós kutatása részben erre a kihívásra keresi a választ, elért szakmai és tudományos eredményeivel hozzájárulva az ipari digitalizáció fejlődéséhez és versenyképességéhez.

Formai értékelés

A dolgozat magyar nyelvű, 120 számozott oldalból áll. A tartalmi rész 108 oldal, ezt egy 83 elemű irodalomjegyzék, valamint egy két oldalas melléklet követi. A munka 27 ábrát, valamint 31 táblázatot tartalmaz.

Szerkezet

A dolgozat szerkezete jól áttekinthető. Az előző változatban kritizált 13 fő tartalmi fejezet radikális átszervezésen esett át, így a jelenlegi műben négy számozott fejezet szerepel. Rengeteget javult ugyan az anyag a munkahelyi vitán bemutatott első változathoz képest, helyenként azonban továbbra is elnagyolt.

Szerkesztés, stílus

A dolgozat jól érthető, mivel szövegezése egyszerű, nem használ körmönfont szerkezeteket, ami nagyban segíti az olvashatóságot. A szűkebb értelemben vett szakterületre vonatkozó

szakkifejezéseket többnyire használja, de számomra még mindig hiányzik belőle a műszaki szövegekre jellemző egzakt, szikár és kimért stílus.

A dolgozat ábrái helyenként az alátámasztó publikációkban szereplő ábrákkal azonosak, azokból kerültek áttemelésre. Az ábrákon szereplő szöveges objektumok ennél fogva nem követik következetesen a dolgozat nyelvét, ami helyenként zavaró.

Az egyenletek szerkesztésére vonatkozó korábbi javaslataimat megfogadta a szerző, ami nagyban javítja a műszaki formulák, és ezáltal a teljes szöveg olvashatóságát.

Apróbb szövegszerkesztési hibák felsorolásától az idő és a formátum szabta korlátok miatt eltekintek.

Tartalmi értékelés

A szerző három fő egységbe rendezte a munkáját, ezek lényegét emelem ki az alábbiakban.

Irodalomfeldolgozás

A disszertáció első fejezetében a szerző témakörönként ad bevezetést, irodalmi áttekintéssel kiegészítve összesen körülbelül 43 oldalban. A három kiemelt témakör az ipar 4.0, mobil robotika, valamint a szakértői rendszerek, ez utóbbi egy kicsit alulreprezentált a másik kettőhöz képest. Az irodalomfeldolgozás alapos, megfelelően strukturált és naprakész szakirodalmat használ. Különösen értékelendő, hogy a nemzetközi irodalmi forrásokat is kellő mélységgel dolgozza fel a szerző, bemutatva a szakterület jelenlegi állását. A személyes véleményem hogy egy kissé terjengős ez a bevezető fejezet, ugyanakkor fontos az alapfogalmak és a szakirodalom megfelelő bemutatása.

Tartalmi összefoglaló

A dolgozat tartalmi szempontból érdeminek mondható része körülbelül 50 oldalt ölel fel, ebben ismerteti a szerző a PhD témájával kapcsolatban végzett tevékenységeit, elért eredményeit.

A második fejezet egy mobilrobot központú gyártórendszer-modellt vezet be, amely a teljes rendszert a robot szemszögéből írja le, egy autó-indítókulcs példán demonstrálva. Történeti és koncepcionális keretben helyezi el a megközelítést (szalag - FMS AGV/AMR), majd a diszkrét eseményű rendszermodellek közül a Petri-háló modellt választja a modellezés alájául a nagyobb részletesség miatt. A gyártórendszer és a robot szétválasztása után formalizált paraméterkészletekkel újra összekapcsolja őket. A modell deklaráltan holtpontmentes, és kifejezetten a gyors számíthatóságot célozza: kihasználtság, utazási és várakozási idők, illetve energia-/töltési mutatók hatékonyan becsülhetők. Ezt nagyszámú szintetikus futással támasztja alá, egyszerű esettanulmányokkal illusztrálva a képletek és jelentésgenerálás működését. A layout-érzékenységet külön vizsgálja: a géptávolságok és a termékmix a töltési gyakoriságon és az átfutásokon keresztül érdemben befolyásolják a teljesítményt. A modell fitnessfüggvényként meta-optimalizációba is beépíthető (pl. genetikus algoritmus esetén), ami gyors konvergenciát mutat; az minimális feszítőfa alapú alternatívával itt gyengébb eredményt jelez. A fejezet fő erénye az egyszerű, robotnézőpontú absztrakció és a mérnöki hasznos, könnyen számítható mutatók rendszere. Kritikai megjegyzésként felrögható, hogy a validáció jelenleg jórészt szintetikus; ipari összevetés valós mérési adatokkal erősítené a következtetéseket. Továbbá a holtpontmentesség

formális bizonyítása, a determinisztikus idő- és energiafeltételezések érzékenységvizsgálata, valamint a kód- és adat-reprodukálhatóság részletezése növelné a fejezet tudományos súlyát.

A 3. fejezet egy döntéstámogató szakértői rendszer felépítését mutatja be mobil robotok gyártórendszerbe integrálásához: a probléma megfogalmazása az, hogy a gyártórendszer teljesítményét igazoltan javító robotot kell kiválasztani, objektív (adatlapos) és szubjektív (szakértői) szempontok együttes kezelésével. A szerző előbb a releváns tervezési paramétereket gyűjti össze (sebesség, gyorsulás, teherbírás, fel-/lerakási idők, energiajellemzők stb.), majd egy robot-adatbázist és erre épülő tudásbázist hoz létre; az attribútumok ítéletlogikai szimbólumokká alakíthatók, a generálást programkód automatizálja. Az első (brute force) igazságtáblás megközelítés exponenciális időigénye után a megoldás CLIPS-alapú szabályrendszerre áll át: a „tények” (adatbázis) és a felhasználótól bekért kulcskritériumok alapján előszűri a megfelelő robotalmazt. A szűkített jelöltek között a rangsorolást többcélú optimalizáció (VIKOR) adja, előre rögzített súlyokkal olyan haszon/költség jellegű tulajdonságokra, mint teherbírás, akkukapacitás/töltési idő, végsebesség, megbízhatóság és performancia. A rendszer skálázhatóságát hozzávetőlegesen 100 roboton és 20 jellemzőn demonstrálja, és a tudásbázis-szabálymotor-multikritériumos döntéshozatal hármását tekinti fő hozzájárulásnak. Megjegyzendő, hogy az adatbázis részben véletlen generált, ipari validáció és költségadatok hiányoznak; a szakértői tudás kinyerésének módszertana és a súlyok/szabályok érzékenysége nincs kellően dokumentálva; a „megbízhatóság=0” típusú értékek adatminőségi problémára utalnak; érdemes lett volna a CLIPS-szabályok normalizálása, a logikai/kvantitatív rétegek tisztább szétválasztása, valamint benchmark MCDM-eljárásokkal (TOPSIS/AHP/CRITIC) és valódi esettanulmányokkal történő összevetés.

Tézisek

A jelölt a 2. és 3. fejezet megfelelő szakaszaiban, majd összesítve a 105. oldalon három tézisben foglalja össze tudományos eredményeit. Ez redundánsnak tűnhet ugyan, de a véleményem szerint gördülékenyebbé teszi az anyag olvasását.

1. tézis Bemutat egy „mobil robot-központú” gyártórendszer-modellt: 10 állapottal és 8 átmenettel felírt, holtpontmentes Petri-hálót, amely a robot szemszögéből ragadja meg a szállítási feladatot (útvonal, távolság, fel-/lerakás, darabszám, méretek) és az akkumulátor-korlátot.

2. tézis A tézis első alpontjában igazolja, hogy egy egyirányú kétpontos szállításnál a szükséges akkukapacitás elméleti határai két nagyságrendet is lefedhetnek, és feladatfüggően erőforrás-hatékonyan választhatók.

A tézis második alpontjában megmutatja, hogy a modell magasabb szintű optimalizálás (genetikus algoritmus) fitnessfüggvényeként is működik, a vizsgált esetben 10 generáció alatt konvergálva.

3. tézis Kidolgoz egy szakértői rendszerre épülő döntéstámogató keretrendszert a robotkiválasztáshoz, amely egyesíti a datasheet-paramétereket, a humán szakértői tudást és a gyártási környezet jellemzőit.

A tézis első alpontjában logikai (ítéletlogika/fuzzy, CLIPS) tudásbázis-építést ad, amely 100+ robot és több tucat attribútum kezelésére skálázható.

A második alpontban az előszűrt alternatívák között VIKOR-alapú többcélú rangsorolást alkalmaz, amely objektív sorrendet ad, ugyanakkor teret hagy a szakértői korrekciónak.

A kimondott téziseket elfogadom új tudományos eredményként.

Tézisfüzet

Megjegyzem, hogy a tézisfüzet magyar nyelvű változatát volt alkalmam átolvasni, arra általánosan ugyanazok a megjegyzések vonatkoznak, mint a dolgozatra. Kiemelném, hogy kissé tömörre sikerült, ami nem feltétlenül probléma, de a dolgozat helyenként terjengős stílusával összevetve kissé talán nagy a kontraszt. Elfért volna benne egy kicsivel több bevezető gondolat, akár egy lerövidített irodalmi áttekintés is.

Publikációk

A dolgozatban a saját és az idézett irodalmak egy listában szerepelnek, ami nagyon zavaró, célszerű lett volna egyéb jelölést használni rájuk. A saját publikációk esetében szerepeltethette volna az impakt faktort, a Q besorolást és az esetleges független hivatkozások számát, ez nagyban segítette volna a tisztánlátást.

A jelöltnek az MTMT adatbázis alapján összesen öt lektorált publikációja van, ezek közül három cikk egy-egy lektorált konferencia különszámokban, kettő pedig impakt faktoralal rendelkező referált nemzetközi folyóiratban jelent meg, illetve áll megjelenés alatt. További három konferenciaközleményt jegyez korábbi, a jelen dolgozat által nem érintett témakörökben - a munkásságára kapott öt független hivatkozást is ezek egyikére kapta.

A Pannon Egyetem doktori szabályzata, valamint a Vegyészmérnöki és Anyagtudományok Doktori Iskola szabályzata alapján *„a doktori fokozat megszerzéséhez minimálisan 3 db idegen nyelvű referált folyóiratban, ebből két külföldi referált folyóiratban megjelent vagy közlésre elfogadott közlemény szükséges. A folyóiratok közül legalább az egyiknek Q1 besorolásúnak kell lennie, vagy a közlemények összegzett impakt faktorának meg kell haladnia a 2,00 értéket”*.

Ezen feltételek mindegyike teljesül, tehát elmondható, hogy a jelölt teljesíti a doktori iskola által támasztott publikációs elvárásokat.

Kérdések

A dolgozat alapos átolvasása során a következő kérdések fogalmazódtak meg bennem.

1. Milyen előnyökkel jár a gyártórendszer, mint diszkrét eseményű rendszer modellezése esetében a Petri-háló modellt az automata modellhez képest?
2. Az alkalmazott Petri-háló alapú modell esetében mit szimbolizálnak a helyek, illetve az átmenetek? Mi a tokenek jelentése egy gyártórendszer-modell esetében?
3. A (40) egyenletben definiált K kihasználtság mérőszám az 1.8. fejezetben bevezetésre kerülő minőségi mérőszámok közül melyiknek feleltethető meg, illetve milyen viszonyban áll azokkal?

4. Előfordulhat, hogy a 3. fejezetben javasolt szakértői rendszer által javasolt mobil robot helyett elegendő lenne egy robotkar a feladatra? Képes a rendszer ilyen jellegű választ adni?
5. A 26. ábrán 12 mobil robot látható, a 18. táblázatnak robotonként egy, összesen 10 sora van. Pontosán hány robot került beépítésre a szakértői rendszerbe? Mennyire bonyolult a rendszer bővítése új robotokkal? Érinti-e ez a szabálybázist?
6. A gyártórendszer szimulálása során milyen bemeneti paraméterek, illetve változók kerülnek megadásra a felhasználó által, illetve milyen számolt, vagy becsült kimeneti változók generálódnak?

Összegző vélemény és javaslat

A disszertációban leírt kutatás világos célkitűzésekkel, logikus szerkezettel és meggyőző eredményekkel alátámasztva járul hozzá a mobil robotok gyártórendszerbe történő integrálásának tudományos és mérnöki megalapozásához.

A bíráló alapján a dolgozat megfelel a Pannon Egyetem doktori szabályzatában rögzített tudományos, módszertani és formai követelményeknek. A szerző önálló kutatói kompetenciáját igazolta, a tézisek védhetőek és a dolgozat tudományos újdonságot hordoz.

Összegzőként kijelentem, hogy a dolgozat megfelel a doktori (PhD) fokozat követelményeinek, javasolom annak elfogadását, nyilvános védésre bocsátását és sikeres nyilvános vita esetén a fokozat odaítélését.

Veszprém, 2025. október 31.



Magyar Attila
egyetemi tanár
Pannon Egyetem
Műszaki Informatikai Kar
Villamosmérnöki és
Információs Rendszerek Tanszék