

Bírálat

Nagy László: Ipar 4.0 és 5.0 megoldások fejlesztése ontológiák alapján - modellezés és optimalizálás

doktori dolgozatáról

1. Az értekezés újszerűsége, aktualitása, tudományos és társadalmi jelentősége.

Az Ipar 4.0 egy olyan technológiai forradalom, amely a digitális átalakulást hozza létre az ipari folyamatokban. Az Ipar 4.0 tekinthető egy olyan platformnak is, amely lehetővé teszi, hogy az ipari folyamatokat központosítva felügyelje, nyomon kövesse és vezérelje, ahol a különböző rendszerek összekapcsolódnak, és közös adatokat osztanak meg és cserélnek olyan technológiák használatával, mint a felhő alapú számítás, Internet of Things (IoT), szimulált adatok és folyamatok, kiberbiztonság, intelligens robotok és gépi tanulás. Az Ipar 4.0 egy teljesen új ipari rendszer, amely hatékonyabbá teszi az üzemek működését, csökkenti a költségeket és növeli az eredményességet.

Az Ipar 5.0 egy olyan megközelítés, amely a technológiai fejlődés és a munkaerő összehangolását célozza, hogy hatékonyságot és magas szintű versenyelőnyt biztosítson a vállalatok számára. Ez a koncepció a robotok, automatizálási technológiák és emberek közötti kooperációra összpontosít, hogy a legjobb eredményeket érje el. Ez a megközelítés a gyártási folyamatok hatékonyságának további növelését, az energiafelhasználás csökkentését, az emberi munkaerő elégedettségének növelését is eléri ezáltal.

A dolgozat a gyártási adatok gráf alapú optimalizálására szolgáló ontológia modell felhasználását mutatja be. Átfogó áttekintést nyújt a szemantikus technológiákról, amelyek kiemelik, hogy a gráf technológiák integrálása a meglévő ipari szabványokba, tervezési és végrehajtási rendszerekbe hatékony adatfeldolgozást és elemzést biztosíthat. További vizsgált probléma az Industry 5.0 megoldások tervezése, amelyek egy adott problémához kapcsolódóan leírást igényelnek a gyártási folyamatról, az operátorok készségeiről és állapotairól, valamint az intelligens térben elhelyezett szenzorokról a kooperatív munka egyidejű monitorozásához. A hipotézis az, hogy az ontológia alapú adatok hatékonyan képviselik a vállalati és gyártási adathalmazokat, továbbá a kapott gráf központosságának és moduláriságának tanulmányozása támogatja a kooperáció és interakció sémáinak kialakítását és a gyártási sejtek tervezését. A dolgozat két nagyobb részre oszlik, ezek a modellezés és az optimalizálás. A szemantikus modellezési rész áttekintést nyújt azokról az ontológiákról és tudásgráfokról, amelyek az Ipar 4.0 és 5.0 alkalmazások létrehozásában felhasználhatók, továbbá két részletes alkalmazást mutat be egy ipari esettanulmányban. Az optimalizálási rész a hálózattudomány alapú folyamat optimalizálásra összpontosít, és számos részletes alkalmazást mutat be, például gráf alapú elemzéseket, összeszerelési sorok kiegyensúlyozását vagy közösség-detektálást.

Ezek alapján elmondható, hogy az értekezés újszerű, aktuális és ipari területeken alkalmazható, tudományosan megalapozott szemantikus leírásokat, modelleket, valamint hálózati kutatási eredményeket, módszereket tartalmaz, így a tudományos és társadalmi jelentősége is egyértelműen kiemelkedő.

2. A szakirodalom feldolgozásának színvonala.

Az értekezés 368 hivatkozást tartalmaz, melyek túlnyomó többsége az elmúlt évtizedben jelent meg, illetve a korábbiak is a témakört megalapozó publikációknak számítanak. A hivatkozások a fejezetekbe szervesen beépülnek, ott jelennek meg, ahol szükségesek a megértéshez, az előzmények bemutatásához.

A bőséges szakirodalmi hivatkozás és feldolgozása is rendkívül színvonalasnak tekinthető.

A házi védelemre kapott korábbi változathoz kapcsolódóan tett korábbi észrevételem.

A bevezető leírások, a témakörök bemutatása az irodalmi hivatkozások alapján már-már enciklopédia jellegű, túlságosan is részletes, bár kétségtelenül olvasmányos, de azért meggondolandó, hogy nem lehetne-e rövidíteni ezeken a részekben, illetve az átfedő hivatkozásokból elhagyni.

A jelölt válasza alapján a dolgozatot monográfiához kívánják majd felhasználni, ezért ilyen terjedelmes, illetve a jelölt a javított változatban rövidített egyes bevezető részekben. Ezek alapján a megjegyzésekre tett válaszát és a javítást elfogadom.

3. Tartalmazza-e a feldolgozás a témával összefüggő fontosabb tudományos előzményeket?

Az értekezés jól olvasható, könnyen érthető, köszönhetően annak is, hogy minden fontos tudományos előzményt alaposan tárgyal, illetve bemutatja, hogy épülnek a korábbi eredményekre a saját modelljei, módszertana, elemzései, javaslatai.

4. Elemző módon, kritikailag dolgozta-e fel a jelölt a téma irodalmát?

A témához szükséges hivatkozásokat, a bennük szereplő fogalmakat, módszereket, eredményeket általában a szövegkörnyezetnek megfelelően röviden ismerteti, de ahol szükséges, ott részletesebben is bemutatja az előzményeket.

5. A kutatási célok megfogalmazásakor támaszkodott-e a jelölt a már ismert korábbi eredményekre?

Az értekezés alapvetően a jelölt saját, nemzetközileg publikált eredményeit mutatja be tudományos és gyakorlati háttérismeretek tükrében. A kutatási célok megfogalmazásánál igyekezett olyan keretet találni, amelybe a témához tartozó saját publikációi természetes módon beilleszthetők.

Itt látszik, hogy előbb jelentek meg a publikációk, változatos témakörökből, melyeket a dolgozat próbált utólag egységes keretbe illeszteni, ami többé-kevésbé sikerült. Ez a doktori dolgozatoknál nem kifogásolható, általánosan tapasztalt megoldás.

6. A kísérleti célok helyessége. Alkalmaz-e a választott módszer a célokban megfogalmazott vizsgálatokra?

A megfogalmazott tézisek, kutatási célok elfogadhatóak, helyesek. A választott módszerek a tudományterületre jellemzően, elsősorban leíró és empirikus jellegű vizsgálatokat hasonlítanak össze, melyek ezáltal alkalmasak a célokban megfogalmazott modellek bevezetésének indoklására, az alkalmazhatóság igazolására.

7. A munka során alkalmazott vizsgálati módszerek korszerűsége, megbízhatósága.

A bemutatott módszerek korszerűek, megfelelnek az adattudomány, informatika, mérnöki tudományok szakirodalmában szokásos elvárt követelményeknek, azaz nem alaptudományban megszokott elméleti alapon bizonyítható állításokat fogalmaznak meg, hanem általánosan használt adathalmazokon, esettanulmányokban mutatják be a javasolt algoritmusok, fogalmak használhatóságát más megközelítésekkel összevetve.

8. A kutatási eredmények színvonala, az eredmények matematikai-statisztikai értékelése.

A házi védelemre kapott korábbi változathoz kapcsolódóan tett korábbi észrevételem.

A kutatási eredmények színvonalasok, a téziseket - a 4. tétel kivételével - megjelent publikációk is alátámasztják.

Szigorúan vett matematikai-statisztikai vizsgálatokból lehetett volna többet is elvégezni, például hipotézisvizsgálatokat, szignifikáns eltérések igazolását, annak igazolására, hogy a javasolt módszerek jobbak-e a mások által bemutatott módszereknél, mindazonáltal az értekezésben megtalálhatók a legszükségesebb empirikus leírások, hisztogramok, táblázatok, grafikonok.

A jelölt a dolgozatot egyes részeit kiegészítette, bővítette, illetve megadta, hogy a 4. tételhez tartozó kézirat bírálat alatt van már azóta egy Elsevier folyóiratban.

Ezek alapján a megjegyzéseimre tett válaszát és a javítást elfogadom.

9. Az eredményekből levont következtetések helytállósága.

Az értekezés elsősorban modelleket, gráfelemzési módszertanokat, új algoritmusokat javasol, így a következtetések jellege is ehhez igazodik, ebből adódóan maguk a következtetések is nehezen lehetnének számszerűsíthetők, viszont a javasolt módszerek alkalmazhatóságát a jelölt meggyőző példák, esettanulmányok alapján mutatja be.

10. Összeveti-e a jelölt az eredményeit az irodalommal (diskusszió)?

A bevezetett módszerek irodalmi előzményeken alapulnak. A jelölt olyan módszertanokat, megoldásokat dolgozott ki, amelyek összehasonlításokat tesznek lehetővé, ezekből jó lett volna többet is látni a dolgozatban, igaz, már így is igen terjedelmes a munka leírása.

11. A jelöltnak az értekezéssel összefüggő publikációs tevékenysége.

A saját eredményeket tartalmazó publikációk száma az MTMT adatai alapján (2023. május 15.) 3 folyóiratcikk és 1 konferenciacikk, melyekre eddig 12 független hivatkozást kapott. Ez éppen eléri az elvárható minimumot, de ennél többet szoktak a doktori dolgozatok tartalmazni.

12. Tartalmaz-e az értekezés új tudományos eredményeket? A jelölt mely eredményeit ismeri el a bíráló új tudományos eredménynek?

Az értekezésben megfogalmazott eredményeket új tudományos eredményeknek tartom, és az erre épülő mind az öt tétisét elfogadom.

13. A dolgozat szerkezeti felépítése, tagoltsága.

A dolgozat szerkezete: A dolgozat 245 oldal, ebből az esettanulmányt is bemutató mellékletek, irodalom nélküli lényegi rész 172 oldal (a pdf fájl számozása alapján). A dolgozat két nagyobb részből áll, az első a modellezésről (ez három fejezetet tartalmaz), a második a hatékonyságot növelő adatelemzésből áll (ez négy fejezetet tartalmaz). A két rész között a kapcsolatot az teremti meg, hogy a modelleket, adatokat egyaránt gráfként, hipergráfként reprezentálja, ezáltal az optimalizálást is gráfok vizsgálatára, centralitások által megadható fontos csúcsok keresésére, illetve összetartozó részek, közösségek részgráfjainak megtalálására vezeti vissza. A dolgozat szerkezeti felépítése, tagoltsága megfelel az elvárt követelményeknek.

Az A jelzésű rész a bevezetés, motiváció, kutatási kérdések megfogalmazása.

Először az A.1 szakasz összefoglalja azokat a mérnöki, hálózattudományi és a legújabb digitális technológiák területeit, amelyek a kutatási problémához szükségesek. Az A.1.1 alszakasz

hátteret ad az ontológiákhoz, szabványokhoz és szemantikus hálózatokhoz, míg az A.1.2 bemutatja a digitális tükörképeket (twins). Az A.1.3 alszakasz az Ipar 4.0 idekapcsolódó területeit írja le, és végül az A.1.4 alszakaszban a felvetődött problémák listája található. Ezután az A.2 szakasz egy olyan keretet mutat be, amely a szemantikus alapú modellezést és a hálózattudomány alapú folyamat optimalizálást kombinálja az Ipar 4.0 és 5.0 megoldások fejlesztéséhez. Végül az A.3 szakaszban megfogalmazódnak ennek a doktori disszertációnak a kutatási kérdései.

Ezután jön a saját eredményeket is felvonultató két rész (I-II), a modellezési, illetve az elemzési-optimalizálási rész.

Az első rész a szemantikus alapú modellezésről szól, amely ontológiákat és tudástárakat használ, és két részletes alkalmazási aspektust mutat be az I.2 és I.3 fejezetekben, ipari mérési problémák felhasználásával. Először az I.1 fejezet bemutatja a szemantikus modellezés elméleti és kutatási hátterét. Az I.2 fejezet egy esettanulmányt mutat be az iparági specifikus tudástár fejlesztéséről. Továbbá leírja, hogyan kell adatlekérdezéseket létrehozni és értékelni ontológiákkal. Az I.3 fejezetben egy összetettebb tudástár-fejlesztés kerül bemutatásra, amely az Ipar 5.0 támogatására irányul.

A második rész a hálózati tudomány alapú folyamatoptimalizálásról szól, és a II.2-II.4 fejezetekben részletes alkalmazási szempontokat mutat be. Először a II.1 fejezet a problémákat fogalmazza meg, és bemutatja a hálózati tudomány alapú folyamatoptimalizálás elméleti és gyakorlati hátterét, mint például az összeszerelősorok kiegyensúlyozása, a közösség-detektálás vagy a hipergráf alapú elemzés. A II.2 fejezet részletes módszert mutat be az analitikus hierarchia-folyamat és a többbrétegű hálózaton alapuló modellezés kombinációjával az összeszerelősor kiegyensúlyozásának megoldásához. Továbbá, egy összetett, többbrétegű elemzést mutat be egy vezetékhálózat összeszerelő gráf hálózatán. A II.3 fejezet hatékony hálózati közösségfelderítő algoritmust mutat be alulról-felfele szegmentálással. Végül, a II.4 fejezet tárgyalja a kollaboratív gyártási folyamat hipergráf-alapú elemzését.

A B jelzésű rész összefoglalja a dolgozat eredményeit, megfogalmazza a téziseket és megadja a tézisekhez tartozó saját publikációkat.

A C jelzésű rész tartalmazza a mellékleteket. Először a C.1. szakasz mutat be egy ipari esettanulmányt, majd a C.2. szakaszban található az együttműködési leírás. A C.3. szakasz az I.3. fejezet esettanulmány-specifikus tudásgráfjának részletes UML-jét mutatja be. A C.4. fejezetben a II.2. fejezet kidolgozott futószalag-kiegyensúlyozó algoritmusának rövidítései találhatók. Végül a C.5. fejezetben található a felhasznált jelölések és benchmark eredmények listája, amelyek a II.3. fejezet közösségkereső algoritmusához kapcsolódnak.

14. A dolgozat ábrái, táblázatai világosak-e?

A dolgozat több mint 100 ábrát, táblázatot tartalmaz, melyek nagyban segítik a megértést, az eredmények összehasonlítását. Az ábrák megfelelő méretűek, esztétikusak, a táblázatok is olvashatók, könnyen értelmezhetők.

A házi védelemre kapott korábbi változathoz kapcsolódóan tett korábbi észrevételem.

Az I.1.1 ábrán feltüntetett publikációk száma milyen folyóiratokra, kiadókra, stb. vonatkozik és honnan vannak ezek az adatok?

A jelölt kiegészítette a felíratot.

Ezek alapján a megjegyzésekre tett válaszát és a javítást elfogadom.

15. Az irodalmi hivatkozások szabályosak-e?

Ebben a változatban még sok elírás, pontatlanság szerepel a hivatkozásokban, illetve a szövegben sem egységes formában szerepeltek az idézetek. Nem szerepel mindenhol az oldalszám, kiadó, nem egységes, hogy pages x-y, vagy egyszerűen x-y, konferenciánál nem szerepel a konferencia helyszíne, vagy például a 3-as hivatkozásnál kétszer szerepel a végén az évszám.

A házi védeésre kapott korábbi változathoz kapcsolódóan tett korábbi észrevételem.

Javaslom a hivatkozások alapos átnézését, egységesítését, hiányzó adatok pótlását. Az évfolyam, kötet, oldalszám, évszám kövessen valamilyen egységes sorrendet, stílust.

A mostani változat sokat javult ebben a tekintetben is.

Ezek alapján a megjegyzéseimre tett válaszát és a javítást elfogadom.

16. A dolgozat stílusa.

A dolgozat angol nyelven íródott, stílusa megfelel az elvárt követelményeknek. Kifejezetten olvasmányos, ugyanakkor kellően precíz, és a szükséges fogalmakat előzményeket is megfelelően bevezeti, illetve utal az irodalmi munkákra, ahol bővebben tájékozódhat az olvasó.

17. A dolgozat külső megjelenése.

A dolgozat megjelenése esztétikus, az ábrák kidolgozottak, megfelelő méretűek, az összkép igen kedvező, szép megjelenésű munka.

A házi védeésre kapott korábbi változathoz kapcsolódóan tett korábbi észrevételem.

A 166. oldalon alul (a pdf fájl oldalszámozása alapján) kimarad egy J-betű: urnal of Manufacturing Systems

A jelölt kijavította a gépelési hibát.

18. További kérdések és megjegyzések:

A házi védeésre kapott korábbi változathoz kapcsolódóan tett korábbi észrevételem.

A javasolt modellezési és elemzési algoritmusokat milyen nagyságrendű gyártási folyamatok esetén érdemes bevezetni, használni? Egy döntéshozót mivel tudna meggyőzni, hogy érdemes szemantikus technológiát, hipergráfos megközelítést, közösségi felderítést végezni a gráfokon? A döntéshozót az fogja érdekelni, hogy mennyi a bevezetés és alkalmazás költsége és mennyi a megtakarítás költsége valamilyen időszakason, ezt akarja összehasonlítani. Ehhez milyen adatokat kérne a cégről, a gyártásról? Milyen scénáriókat mutatna be ezek alapján a döntéshozónak? Van-e valamilyen ökölszabály a gráfok méretére (csúcsok és élek számára), amikor biztos, hogy nem érdemes használni a dolgozat módszereit, vagy amikor biztos, hogy megéri?

A jelölt a házi védeken és az írásos válaszában részletesen megválaszolta a kérdéseimet.

Ezek alapján a kérdéseimre adott válaszát elfogadom.

A dolgozattal kapcsolatban a házi véde óta megfogalmazott újabb kérdéseim:

- 1. A nagy nyelvi modellek (ChatGPT, Google Bard és hasonló) használatát a dolgozatban bemutatott modellezés és optimalizálás mely pontjaiban látja alkalmazhatónak már most vagy a jövőben, és hogyan?**

2. A publikációk sokszor csak egy prototípusig jutnak el, vagy egy modellezési lehetőséget adnak meg, javasolnak. Szabványok természetesen vannak, de az elméletben jól működő modellek bevezetése sokszor külső tényezőkön is múlik. Kérdésem, hogy ontológia alapú termelési modellezést a gyakorlatban hol használnak már? Adjon meg több olyan hazai vagy külföldi céget és hozzájuk kapcsolódó termelési folyamatokat, amelyekről ismert, hogy ontológiákat, RDF gráfokat használnak a modellezésre, elemzésre, hogy ezáltal jobban alátámaszthassa a dolgozatban megfogalmazott modellezési és optimalizálási módszereinek gyakorlati alkalmazhatóságát.

Értékelés: A dolgozat azt mutatja be, hogy a gráfok és hálózattudomány módszerei, mérőszámai egyaránt használható gyártási folyamatok modellezésére és az Ipar 5.0 alkalmazások adatelemzésekkel történő hatékonyabbá tételére.

A dolgozat, valamint a megjelent publikációk száma és minősége azt mutatja, hogy a jelölt a témában járatos, önálló kutatásra képes, megfelel a doktori követelményeknek.

A házi védés óta a bírálókat alapján a dolgozatot a jelölt kiegészítette, javította. A végső változat tartalma, formája minden szempontból kiemelkedő, ezek alapján javaslom az értekezés elfogadását „summa cum laude” minősítéssel.

Budapest, 2023. május 15.

dr. Kiss Attila
tanszékvezető
ELTE IK, Információs Rendszerek Tanszék