

Tisztelt Dr. Nacsa János!

Hálásan köszönöm az építő jellegű kritikákat, az értékes megjegyzéseket és a pozitív elbírálást. Az összes kérdést megválaszoltam, illetve számos észrevételre is szeretnék reagálni, amelyet az alábbiakban fejtek ki, kékkel jelölve.

Köszönettel:

Darányi András Pál

Pannon Egyetem, Rendszermérnöki Intézeti Tanszék

1. fejezet – Bevezetés és motiváció

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.

Köszönöm a megjegyzést. Észrevételeivel jól rámutatott, hogy valóban értékesebbé tette volna a dolgozatomat, ha ily módon definiálom a kontextust.

A hivatalos definíció szerint Ipar 4.0-t olyan fejlett technológiák integrációja jellemez, mint a tárgyak internete (IoT), a mesterséges intelligencia (AI), a big data és a robotika, amelyek intelligens gyárak létrehozását teszik lehetővé.

A saját felfogásomban az Ipar 4.0 egy "eszköztárat" jelent, amely az intelligens gyártórendszerek fejlesztését támogatja, és ehhez különböző digitális technológiákat tartalmaz, mint többek között az adatvezérelt megoldások, összekapcsolt rendszerek, robotika, állapot diagnosztika, stb.

Mint a dolgozatom címe is mutatja, az általam javasolt módszertan összetett algoritmusokon alapuló, adatvezérelt technikákkal igyekszik kiegészíteni ezt az eszköztárat, és ebben az értelemben tekintem Ipar 4.0 megoldásoknak.

Zárójelben megjegyzem, hogy utólag úgy vélem. hogy az „Ipar 4.0”, mint európai terminológia helyett sokkal helyénvalóbb lett volna az amerikai „smart manufacturing” kifejezés használata.

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.

Noha egyetértek azzal, hogy az adatok megléte, vagyis inkább hiánya jelentős probléma még manapság is, azonban véleményem szerint ez csak a barnamezős, digitális átalakulás előtt álló esetekre igaz. Az előző válaszomban megfogalmazott Ipar 4.0 definíció alapján mind a fejlett szenzoralapú diagnosztikai rendszerek, illetve, a rájuk épülő adatvezérelt megoldások az Ipar 4.0 alappilléreit jelentik. Eszerint az adatokon alapuló karbantartás és diagnosztika nem csupán elméleti koncepció, hanem gyakorlati követelmény kell legyen az intelligens gyártórendszerek esetén, így nem csupán a zöldmezős beruházásokra vonatkozik, hanem a retrofittingnek is ezen lehetőségek megteremtését kell céloznia.

2. fejezet – Szerszám kiosztás többcélú hierarchikus klaszterezéssel

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?

A modell statikus mivoltát az jellemzi, hogy a kapott megoldás állandó, tehát nem változik időben, hogy mikor melyik gép kerül használatba és milyen szerszámokat rendelünk hozzájuk.

Ez a statikusság nem jelent korlátot, hiszen maga a módszer is egy valós vállalat számára lett kifejlesztve, ahol egy statikus szerszámallokációs megoldás volt az elvárás. Ez természetesen az adott gyárral szembeni támasztott termelési igények változékonyságától is függ.

Mindazonáltal lehetséges lenne a modellt dinamikussá tenni, hogy kezelni tudjuk az eszközök használatának eltéréseit a különböző időszakokban, ha a termelési igények szélsőséges változékonysága ezt indokolná (hasonlóan a 4. fejezetben bemutatott dinamikus, karbantartási feladat allokációs módszertanhoz).

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

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 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 válaszát: „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 (míg 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.

Köszönöm szépen az észrevételt, amivel teljesen egyetértek. Mindazonáltal, a mozgó adatok elemzése kissé eltérő modellezési megközelítést, módszert igényelt volna. Egy másik kutatásomban, amely nem része a dolgozatomnak, mobilitási mintázatokat elemeztem. Itt targoncák pozícióadataira épített valószínűségi sűrűség becslés segítségével készítettem előfordulási valószínűség térképet, illetve értékeltem ki annak bizonytalanságát. Azonban az itt alkalmazott mozgásos adatok, a valószínűség eloszlás modellezését megelőzően megkövetelték állapotbecslés alkalmazását is, annak érdekében, hogy megbízható eredményt kapjunk. Az említett publikációm linkje: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29437>

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.

Köszönöm szépen az építő kritikát.

A következtetési statisztika elveit figyelembe véve a becslésünk akkor megbízható, ha egyrészt minél több minta alapján történt, másrészt a kapott eredményekben kicsi a variancia. Esetünkben ez egy érzékenységvizsgálatot igényelt volna, amely során meghatározzuk azt az intervallumhosszt, amely esetén, ha különböző időszakokat is nézünk, akkor is hasonló eredményeket kapunk. Az így kapott várható érték egy általános kihasználtságot jelentett volna „végtelen” hosszú időre vonatkozóan, és a konfidenciaszint is kellően magas lenne.

A probléma ezzel az, hogy rugalmas gyártás esetén folyamatosan változnak a kihasználtsági mintázatok és mi pont ezeket az időbeni változásokat szeretnénk tetten érni. Ezt a példa is mutatja, a hiszen módszer fel tudta tárni az eltérő kihasználtságokat.

Mindazonáltal egyetértek azzal, hogy valóban érdekes lett volna megvizsgálni a módszer megbízhatóságát, de ezt mindig a vizsgált időszak alatt rendelkezésre álló, korlátozott számú adatok alapján szükséges megtenni és csakis arra az intervallumra vonatkozóan.

Erre talán egy jó megközelítést tudok elképzelni, hogy a rendelkezésre álló adatokat különböző részhalmazokra bontjuk, pl. minden ötödik adatpont. Nagyon fontos, hogy különböző részhalmazok adatai ugyanazt a karakterisztikát hordozzák, azaz: időben homogének legyenek és a teljes vizsgált időszakot lefedje mindegyik, illetve ugyanazokból a szerszám tag-ekről származzanak. Az így kapott öt részhalmaz alapján pedig kereszt-validáláshoz hasonlóan megnézhetjük volna a becslések eredményét és annak varianciáját, amely alapján már tudnánk konfidenciaszinteket rendelni.

4. fejezet – Kockázat alapú szerszámkarbantartás változó gyártási körülmények között

A 4.1.5 címe azt állítja, ha jólértem, 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

Köszönöm szépen a jogos észrevételt. A genetikus algoritmus valóban nem ad mindig optimális megoldást (éppen ezért nem az „optimal” kifejezést használtam), csupán közelíti azt. A dolgozat írásakor a „best”-et ugyan nem az optimális szinonimájaként értelmeztem, azonban az észrevételével rávilágított, hogy sajnós ugyanolyan félrevezető ennek a szónak a használata.

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.
Új termékek esetén meg van a lehetőség, hogy egyszerűen csak a legutolsó lépéstől kezdődően elkezdjük tovább iteráltatni az algoritmust. Természetesen ez nem ugyanazt a megoldást fogja adni, mintha kiegészítve újra futtatnánk az egészet, azonban mivel maga az algoritmus kapzsi és heurisztikus ökölszabályok alapján mindig csak az adott iterációba legjobbat választja, így nem feltétlenül vezet rosszabb eredményre. Természetesen, ha nem jutnánk fizibilis megoldásra, akkor előlről kéne kezdeni az egészet, hátha úgy talál megoldást az algoritmus.
- Mekkora λ érték változási tartomány mellett adná az algoritmus a ugyanazt az eredményt, mint a 0,5 mellett? Lehet ebből valamilyen konkrét következtetést levonni?
Mivel a bin-packing modell nem része a javasolt módszernek, hanem kizárólag összehasonlítási célokat szolgált, nem végeztem el részletes érzékenységvizsgálatot a λ értékére vonatkozóan. Ugyanakkor elméleti szempontból a kérdés indokolt, és egy esetleges érzékenységi vizsgálat az alábbi módon lenne értelmezhető:
Egy adott kitüntetett lambda (esetünkben $\lambda=0,5$) melletti optimális megoldás akkor marad változatlan más λ értékeknél is, ha a célfüggvény értéke ezekben az esetekben is minimális marad a versenytárs megoldásokhoz képest. Az ilyen tartomány meghatározása a Pareto-front (fontos hogy ez nem a dolgozatban bemutatott, hanem egy bin-packing célfüggvények alapján készített front) pontjaihoz képest történhet, mivel azok képviselik az alternatív, ellentétes irányú kompromisszumokat (több gépért kevesebb szerszám, vagy fordítva).
Matematikailag a következő elvet követhetnénk. Az adott optimális megoldás akkor marad stabil, ha minden alternatív megoldással szemben fennáll, hogy a súlyozott célfüggvény-értékek közti különbség nem válik negatívvá. Ez alapján meghatározható az a λ intervallum, amelyben a megoldás változatlan marad. Az így kapott intervallum a modell robusztusságának jellemzésére is alkalmas: egy széles tartomány a célfüggvény paramétereinek stabilitására utal, míg egy szűk tartomány fokozott érzékenységet jelez.

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?

Köszönöm. A kérdéskör elég összetett, viszont nagyon hasonló egy korábbi, a vizsgált időszak hosszára tett megjegyzés kérdéskörével. Ezért ismét a következtetési statisztikára támaszkodnék a kérdés megválaszolásához, vagyis, hogy magas variancia esetén nagyobb mintanagyságra van szükség, hogy ugyanazt a megbízhatóságot elérjük. A korábbi válaszomban alkalmazott megközelítésben a mintanagyságot a vizsgált időszak hosszával jellemeztem és a termelés változékonysága képviselte a varianciát. Ehhez most hozzá jön, hogy a mintanagyság egy „plusz dimenziót” kap, a vizsgált szerszámok számát, illetve a variancia is kap egy új dimenziót, a szerszámok funkcionális heterogenitását.

Ha kellően hosszú időszakot tudunk nézni, és időben általános következtetést akarunk levonni, akkor a termelés változékonyságát ki tudjuk venni a képletből és így már csak a szerszámok funkcionalitása lesz a fő kérdés, ami meghatározza a stratégiát: ha a szerszámoknak nem létezik olyan minimálisan M számú halmaza, amivel le tudjuk fedni a teljes termeléshez szükséges funkcionalitást, akkor kénytelenek leszünk cserélni a tag-eket az eszközökön. Ha a szerszámok azonosak funkció szempontjából, akkor elméletben elég lehet, ha ugyanazon szerszámokat figyeljük. Megjegyzem azonban, hogy gyakorlati okokból érdemes lehet ilyenkor is cserélni, mert a dolgozóknak lehet „kedvenc szerszáma”, amit mindig egy adott gépen használ stb.

- 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?

Ez mindig a céltól függ, hogy a termelés változékonyságának figyelembevétele mellett mire vagyunk kíváncsiak. Ahogyan korábbi utaltam rá, a becslés megbízhatóságának növelése céljából nem érdemes növelni a vizsgált időszakot a termelés változékonysága miatt, hiszen az adott rövid időszakban érvényes használatról nem fogunk megbízhatóbb képet kapni.

Így, ha a cél az, hogy a kihasználtság változását akarjuk nyomon követni, akkor minél rövidebb időszakokat kell nézni egymás után. Ha a cél mondjuk degradáció becslés egy év alatt, és ezért arra vagyunk kíváncsiak, hogy abban az évben mennyit használtuk az eszközt, akkor természetesen lehet egyben nézni az egész évet.

4. fejezethez – 3- tézishez

- Ha nincsen ipari adat, mégis katalógusokból, interjúk segítségével mennyire lehetne életközeli példát konstruálni?

Köszönöm a kérdést. Sajnos tapasztalataim szerint nagyon nehéz. A megbízhatósági eloszlás paramétereit nem szokták meghatározni a gyártók sem, így mindenképpen a szerszámok historikus adataiból kell meghatározni maximum likelihood módszerrel. Mivel a beígért historikus adatokat végül nem kaptam meg, így az eloszlás paramétereiket szakirodalomból vettem, ahol valós szerszám adatok alapján határozták meg őket a már

említett módon. Ugyan részletes interjúra nem volt lehetőségem, de az egyéb értékek meghatározásánál egyeztettem szakértőkkel is, például, hogy milyen nagyságrendben mozognak egy javító (pl. marófej csiszolás) és vagy tervezett karbantartás (pl. marófej teljes újraprofilozása) idő- vagy költségigényei. Termelési adatokat pedig nagyon ritkán bocsátanak rendelkezésre, ugyanis termelési titkokként kezelik őket.

- 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?

A kockázatértékelő modell tervezésekor az volt a célom, hogy a lehető legtöbb, különböző információt és hatásokat foglalja magába, ráadásul az időbeli változásokat is figyelembe véve. Ennél fogva egyrészt járható út lehet, ha bizony hatásoktól eltekintünk és egyszerűen kivesszük a modellből, másrészt, ha csak időbeli értékek nem állnak rendelkezésre akkor egy állandó közelítő értéket használjunk. Természetesen minden ilyen egyszerűsítés során csökkenni fog a kockázatértékelés jósága, és egy bizonyos mennyiségű változás után már kérdéses lesz a modell használhatósága.

A legkritikusabb pont a termeléssel kapcsolatos adatok hozzáférhetősége mert ahogyan az előző válaszban is említettem, elég korlátozott, ráadásul nagyon fontosak a modell szempontjából. A módszerem gyártási tervet és termékárakat igényel, mert ez mondja meg hogy a jövőben egy adott időszakban kieső termelés milyen veszteséget okoz. Mivel ez reprezentálja a jövőbeli kockázatnak a súlyosság komponensét, nem megkerülhető, azaz mindenképp közelíteni kell valahogy, ha nem áll rendelkezésre.

Pl., ha a termelési adatok historikusan rendelkezésre állnak, csak a jövőbeli terv nem, akkor fel tudjuk használni, hogy predikáljuk a jövőbeli termelési igényeket és erre építjük a kockázat becslést (így ezen információ hiányában inkább bővíteni kell a modellt, mintsem egyszerűsíteni).

Termék árakra vagy termelési értékre azért van szükség, hogy a kritikusságot dinamikusan tudjuk kezelni. Ha nem áll rendelkezésre, akkor számolhatunk alapértelmezett közelítő, termelési értékkel. Ebben az esetben a modell statikus lesz, de így is használható eredményt ad. Mindazonáltal a kockázat nem lesz olyan megbízható, realisztikus, hiszen éppen a fluktuáló termelési igények okozta rejtett költségek nem lesznek figyelembe véve.

Szerszámok életciklusával kapcsolatosan sötét folt lehet még a műveleti körülmények ismerete, hiszen, ha a hiba bekövetkezésről vannak is feljegyzéseink időbélyegekkel, a gyártás során alkalmazott műveleti körülmények nagyon ritkán vannak rögzítve. Ilyen esetben nem tudjuk a szerszám élettartamra vonatkozó hatásait figyelembe venni, és sima Weibull modellt kell alkalmaznunk. Megjegyzem azonban, hogy a Weibull modell önmagában is széleskörben alkalmazott, jól bevált módszer a megbízhatóság elemzésre.



Veszprém, 2025.09.10

Darányi András Pál