

**Tisztelt Dr. Fogarassyné Dr. Vathy Ágnes!**

**Hálásan köszönöm az építő jellegű kritikákat, az értékes megjegyzéseket és a pozitív elbírálást. Az összes kérdést megválaszoltam, amelyeket az alábbiakban fejtek ki, kékkel jelölve.**

**Köszönettel:**

**Darányi András Pál**

**Pannon Egyetem, Rendszermérnöki Intézeti Tanszék**

## Szerszámallokáció többcélú hierarchikus klaszterezéssel

1. A javasolt többcélú klaszterező algoritmus minden iterációban a Pareto-front egyetlen elemét választja ki a legkisebb szerszámkészletű klaszterből kiindulva, és ehhez rendeli a legkisebb disszimilaritású klasztert. Ugyanakkor a Pareto-front egyenrangúan optimális elemei között más összevonási lehetőségek is léteznek, amelyek eltérő klaszterstruktúrát és esetlegesen más végső szerszámcsoportosítást eredményezhetnének. Vizsgálta-e, hogy milyen hatással lenne a végeredményre, ha a másik Pareto-optimális pontot választaná az iteratív algoritmusban a csoportosítás során, illetve mi indokolta ezen pont választását?

Nem végeztem ilyen vizsgálatot. Sajnos félrevezető volt a megfogalmazásom a dolgozatban, ugyanis a pont kiválasztása valójában nem a Pareto fronton történő elhelyezkedés alapján történik, hanem praktikussági alapon, és igazából azt szerettem volna demonstrálni, hogy a kiválasztott pont megfelel az egyik Pareto optimális pontnak.

Egy egyszerű heurisztikus szabályokon alapú módszerre volt szükség az alacsony számításigény érdekében, így az algoritmus első lépésben, egy nagyon egyszerű számítással, mondhatni „kapzsi” módon megkeresi az első célfüggvény minimumát. Ezután már nem kell minden egyes kombinációt megvizsgálni, hiszen csak az ezzel a csoporttal való hasonlóságokat kell megnézni. Így lényegében az algoritmus csak a két tengelyhez legközelebb eső pontok értékét számolja ki, megspórolja minden egyéb belső pont számítását. Ennélfogva a másik Pareto optimális pont nem is kerül kiszámításra.

Úgy vélem, hogy minél inkább a második célfüggvény érvényesülne, annál kevésbé lenne kihasználva a szerszámtár kapacitás, és magasabb lenne a csoportszám. Például képzeljünk el egy olyan helyzetet, hogy két-három nagy szerszámigénnyel rendelkező termék egy csoportba kerül mert nagyon hasonlóak, viszont éppen, hogy nem érik el a szerszámtár maximumát, de más már nem fér be melléjük. Így végül az egyéb kisebb méretű (és lehet, hogy nem is hasonló) termékek egyéb plusz csoportot igényelnek.

2. Nagyon érdekes és informatív a 2.6 ábrán bemutatott eredmény. A 2.6 ábra alapján a többcélú hierarchikus klaszterezés és a bin-packing módszer eltérő módon osztja fel a termékeket a gépek között, azaz a szerszámallokáció lényegesen különbözik. Az eltérés oka természetesen az eltérő optimalizálási módszer alkalmazása. Más esetekben is ilyen jelentős eltérések adódtak a két módszer eredményei között? Illetve, milyen metrikák vagy szempontok mentén lenne még érdemes összevetni a két módszer hatékonyságát, illetve választani közülük?

Kevesebb termék esetén kisebbek voltak a különbségek. A probléma növelésével, ahogy a lehetséges kombinációk száma is nő úgy egyre nagyobb a különbség a megoldásokban is. Nem végeztem erre vonatkozó érzékenyvizsgálatot.

Mivel egy hasonlóságon alapuló klaszterezésről van szó, az általánosan használt klaszterezési metrikák is alkalmazhatók a hatékonyság mérésre, melyek a csoporton belüli hasonlóságokat, illetve csoportok közötti távolságokat veszik figyelembe. Visszaülva az egyelőbbi kérdésre, a csoportosítási eredmények hasonlóságának vizsgálatára alkalmazott metrikák (pl. Rand Index, vagy Adjusted Mutual Information) alkalmasak lehetettek volna érzékenyvizsgálatra, hogy mennyire egyeznek a két módszer adta megoldások a különböző skálájú problémák esetén. Leginkább az adott kontextust figyelembe véve lenne érdemes a hatékonyságot vizsgálni, ha mondjuk a termelésre vonatkozó információ is rendelkezésre áll. A módszer célja az átállási veszteségek csökkentése. Éppen ezért, ha a gyártási megrendelés ismert lenne, akkor érdemes lenne kiszámolni, hogy a talált megoldás hány szerszámcsere eredményezne azon megrendelés teljesítése során.

3. A javasolt módszer számos fontos szempontot nem vesz figyelembe, mint például az egyes termékek gyártási idejét vagy a megrendelések határidejét. Beépíthetők ezek a tényezők a módszer továbbfejlesztett változatába, vagy egy teljesen új módszertan kidolgozása lenne szükséges, ha ezeket is figyelembe szeretnénk venni?

Azt mondanám, hogy új módszertan lenne szükséges, mert jelentősen ki kéne egészíteni az meglévőt. A jelenlegi módszertan (ami valós ipari problémán és igényen alapult) az átállások idejét tervezi csökkenteni, anélkül, hogy explicit módon számszerűsítene, vagyis az idő, mint változó nem szerepel az optimalizációban. Ha figyelembe vennénk gyártási időket és határidő korlátokat, akkor ugyanígy az átállások idejét is számszerűsíteni kéne. Vagyis az iterációk során minden létrehozott szerszámcsoporthoz és az adott megrendelések tekintetében ki kéne számolni, hogy a gyártás során hányszor kell szerszámot cserélni és ez mennyi időt fog igénybe venni, illetve az összidő hogyan viszonyul a határidő korláthoz.

## Szerszámkihasználtság monitorozása célorientált, felügyelt fuzzy klaszterezéssel pozícióadatok alapján

Kérdésként merül fel, hogy indokolt-e a gyártóberendezések pozíciójának klaszterezés útján történő azonosítása, tekintettel arra, hogy ezek helye a legtöbb esetben előre ismert. Nem lett volna módszertanilag célszerűbb a doménismeretet explicit módon beépíteni a modellbe, és az ismert géppozíciók köré szervezni a szerszámok térbeli eloszlásának és kihasználtságának elemzését?

Ha a layout pontosan ismert és állandó (amely szinte kizárt a termelő vállalatoknál), akkor természetesen ezt a tudást felhasználva lett volna érdemes modellt alkotni. Azonban a bemutatott módszertan leginkább

azon, nem kötőtpályás esetekre vonatkozik, ahol nem ismertek a pontos géppozíciók. Így a módszer célja nemcsak kihasználtság elemzés, hanem a layout feltérképezés is, melynek során a releváns helyeket azonosítjuk a pozíció adatok csoportosulása alapján (többek között az akár „láthatatlan” átmeneti állomásokat, puffereket is), másrészt kategorizáljuk őket az ott tapasztalt aktivitások alapján.

## Kockázatalapú szerszám karbantartás változó gyártási körülmények között

Előfordulhat-e, hogy a javasolt módszertan olyan időablakba alokálja egy szerszám javítását, amikor a szerszám ugyan éppen nincs használatban, de a beavatkozás időigénye meghaladja az aktuális inaktív ciklusidőt? Amennyiben igen, akkor milyen módon kezelhető ez a konfliktus a javasolt döntési modell keretében?

Természetesen előfordulhat, hiszen ezt egy soft korlátként kezeli a modell. Az ilyen eseteket a kockázat értékelő függvény negyedik tagja (4.23 egyenlet) bünteti. Ebben a tagban a szerszám következő ciklusban várható rendelkezésre állása (mely az aktuális ciklus időtartamát, az ott megkezdett javítás várható időtartamát és a következő ciklusbeli időigényét figyelembe véve van számítva) van megszorozva a következő ciklus termelési értékével.



Veszprém, 2025.09.10

Darányi András Pál