

GYÁRTÓRENDSZEREK ELRENDEZÉSÉNEK TERVEZÉSE SZTOCHASZTIKUS PARAMÉTEREK FIGYELEMBEVÉTELÉVEL

MANUFACTURING LAYOUT PLANNING CONSIDERING STOCHASTIC EFFECTS

Szaller Ádám^{1,2}, Gyulai Dávid^{1,2}, Dr. Viharos Zsolt János^{1,3}

¹ Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézete (MTA SZTAKI), H-1111, Budapest, Kende u. 13-17.

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

³ Kecskeméti, Pallas Athéné Egyetem, H-6000 Kecskemét, Izsáki út 10.

ABSTRACT. Nowadays, a manufacturing company has to re-organize its production halls, because of the continuously changing product portfolio and shortening product lifecycles. In the paper, a novel simulation-based layout-planning method is introduced, applying an objective function composed of the key performance indicators. Applying several metaheuristics, stochastic parameters can be considered to improve the applicability of the method.

1. BEVEZETÉS

Ha egy termelő vállalat versenyképes szeretne maradni, alkalmazkodnia kell a mai piaci viszonyokhoz, amelyek többek között gyorsan változó termékpalettát és a termékek rövidülő életciklusát jelentik. Ezen okok miatt a gyártórendszereket gyakrabban kell átrendezni, ami bonyolult tervezési feladatok megoldását jelenti – ugyanis a logisztikai és termelési feladatokkal nem összehangolt elrendezés alkalmazása jelentős többletköltségekkel jár.

Az elrendezéstervezés problémakörét a szakirodalomban széles körben vizsgálják különböző módszerekkel. Singh a feladatot kombinatorikus optimalizálási oldalról közelíti meg: n db oszthatatlan elem n pozícióba való elhelyezésének leghatékonyabb módját keresi [1]. Drira a csarnok formáját vizsgálja az üzemszervezés típusától függően, illetve a termékek mennyisége és változatossága miatti különböző megoldásokkal foglalkozik [2]. Az általános gyártórendszer elrendezés tervezési probléma megfogalmazható kvadratikussá hozzárendelési feladatként [3], gráfelméleti problémaként [4], egészértékű programozási feladatként [5], illetve sztochasztikus optimalizálási problémaként [6] is. A feladat NP-nehézsége miatt nem létezik polinomiális futásidőjű algoritmus a megoldására [7]. Emellett a sztochasztikus paraméterek is növelik a keresési tér bonyolultságát, ezáltal a probléma megoldása során optimális közeli

megoldások alkalmazhatóak, pl. genetikussá algoritmus (GA) vagy szimulált hűtés (SA).

A cikkben bemutatott, diszkrét eseményalapú szimulációra épülő elrendezéstervező algoritmus egy olyan célfüggvényt minimalizál, ami kulcs teljesítménymutatókból (Key Performance Indicator – KPI) épül fel: ezek alapján lehetséges mérni az adott elrendezés hatékonyságát. A célfüggvény minimalizálása keresőalgoritmus segítségével történik – így egy adott gyártócsarnok elrendezését változtatva, iterálva kapjuk meg az optimum közeli megoldást. Az algoritmus működésének hatékonysága kísérleti eredményeken keresztül kerül bemutatásra.

2. PROBLÉMAFELVETÉS

Az gyártórendszer (shop-floor) elrendezés tervezése kétdimenziós térben történik, feladat itt elhelyezni a különböző méretekké rendelkező, téglalap alapterületű gépeket. A többféle, egyedi routinggal és megmunkálási idővel rendelkező termék meghatározott helyen érkezik és hagyja el a gyárcsarnokot. A csarnok határai adottak, illetve további fizikai korlátok (pl. oszlopok) is elhelyezkednek a vizsgált területen. A gépek helyzetén kívül azok orientációja is az optimalizáció részét képezi.

A vizsgált esetben egy 18×30 méter alapterületű téglalap egyik sarkából egy 5×20 méteres részt levágva kapott, L alakú, 5 méterenként 1×1 méteres oszlopokkal tagolt csarnok területén került elhelyezésre 10 db gép:

1. $1\text{m} \times 2\text{m}$: 2 darab (M1, M2)

2. $2\text{m} \times 3\text{m}$: 2 darab (M3, M4)

3. $3\text{m} \times 4\text{m}$: 4 darab (M5-M8)

4. $4\text{m} \times 5\text{m}$: 2 darab (M9, M10)

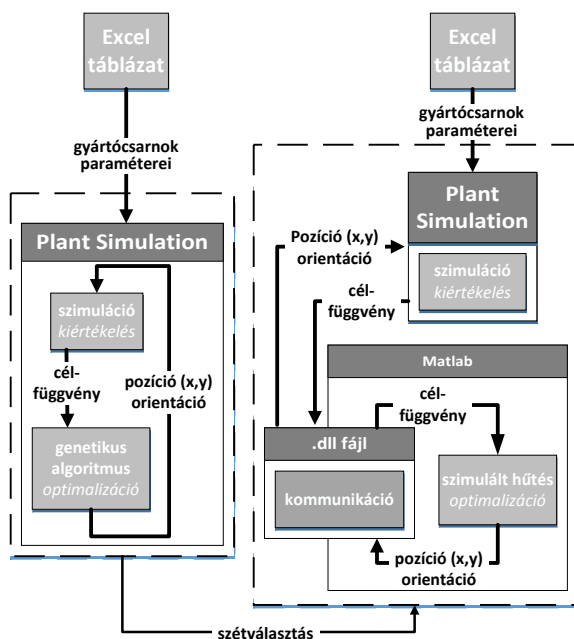
Az 1. táblázat tartalmazza a termékek csarnokba érkezésének gyakoriságát és mennyiségét. A rendelések hatféle termékre vonatkoznak, amelyek csarnokba érkezési ideje normáloszlás szerint változik – ennek átlaga 600, szórása 210 másodperc.

1. táblázat. A termékek érkezés gyakorisága, összes darabszáma és routingja.

Termék	Gyak. [%]	Mennyiség [db]	Routing
P1	10	300	M1-M2-M3-M4
P2	15	450	M2-M5-M6-M8
P3	25	750	M8-M9-M10
P4	10	300	M2-M6-M7-M8-M9-M10
P5	15	450	M1-M5-M9
P6	25	750	M1-M2-M3-M4-M5-M6-M7

3. JAVASOLT MEGOLDÁS

A feladat megoldása diszkrét eseményalapú szimuláció segítségével történik. Ennek előnye az optimalizáló algoritmusokhoz képest, hogy a sztochasztikus paraméterek kezelése lényegesen egyszerűbb. A szimuláció azonban csak egy elrendezés teljesítményének kiértékelésére alkalmas, nem képes optimalizálni azt. A két módszert ezért gyakran kombinálják: ezt hívjuk szimuláció alapú optimalizálásnak [8], ami megfelelő paraméterezés esetén akár nagyságrendekkel is meggyorsíthatja az optimum megtalálását [9].



1. ábra. A szimuláció alapú optimalizálás folyamata.

Az optimalizáló algoritmus által szolgáltatott eredményt szimuláció segítségével értékeljük ki, ezután pedig visszacsatoljuk az optimalizáló algoritmus számára, ezzel egy iteratív folyamatot létrehozva. Ilyen módon kombinálva a két módszer előnyeit, gyorsan kiértékelhetővé válik egy, a sztochasztikus paramétereket is tartalmazó modell [10]. A szimuláció automatikus modellépítést használ, így a paraméterei

(géppozíciók és orientációk) automatikusan variálhatóak.

Két keresési heurisztika került tesztelésre: a genetikus algoritmus (GA) és a szimulált hűtés (SA). A szimulációs modell Technomatix[®] Plant Simulation-ben készült, ami beépített genetikus algoritmussal rendelkezik. A szimulált hűtés használatához a szimulációs modell a modellt a Matlab[®] függvényként meghívható szimulált hűtés algoritmusával kommunikál egy .dll fájlon keresztül (1. ábra).

Adott elrendezés jóságának kiértékeléséhez egy célfüggvényt definiálunk (Fitness Function – FF), ami a gyártási következő KPI-k súlyozott összege:

- *átfedés*: azon területek összege, ahol a gépek fedésben vannak más objektumokkal, vagy egymással (ennek célértéke nulla)
- *úthossz*: a gépeket összekötő utak hosszának összege
- *átlagos gyártási idő*: a termékek gyártósoron töltött átlagos ideje
- *átlagos WIP érték*: adott időpillanatban a gyártósoron lévő termékek átlagos száma.

A keresőalgoritmusok minimalizálják a FF-t – ebből következően minden KPI-t csökkenteni igyekeznek, kivéve az *átfedést* (ez negatív súllyal szerepel a FF-ben). A 2. fejezetben említett letakart részt, illetve az oszlopok területét az algoritmus „tiltott zóna”-ként kezeli – az ide benyúló gépek területével arányosan növekszik az *átfedés* értéke. A keresett változók a gépek középpontjának (x;y) koordinátái, illetve orientációjuk (2 eset, 90°-os forgatásonként). A keresési algoritmusok paraméterei a tesztfuttatások során:

- 1) Genetikus algoritmus
 - a) iterációk száma: 1000; populációk mérete: 30; mutáció/keresztelés/inverzió valószínűsége: 0.1/0.8/0.1
- 2) Szimulált hűtés
 - a) iterációk száma: 6000; kezdeti hőmérséklet: 1000; új pontok generálása: a lépésköz egyenlő a hőmérséklettel, az irány egyenletes eloszlású
 - b) hűtési függvény:

$$\frac{\text{kezdeti hőmérséklet}}{\ln(\text{aktuális iteráció sorszáma})} - 115.67 \quad (1)$$

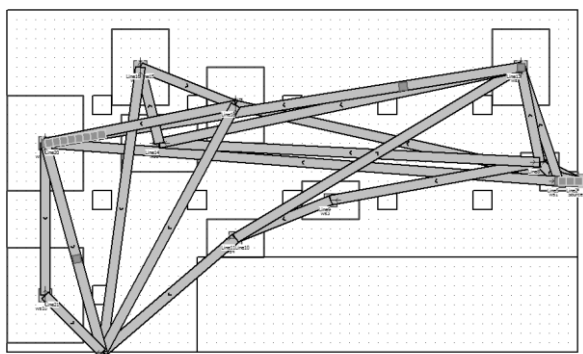
- c) rontó lépés elfogadási valószínűsége [11]:

$$\frac{1}{1 + \exp\left(\frac{\Delta}{\max(T)}\right)} \quad (2)$$

A lehűtési függvény alapja a Boltzmann-formula, a rontó lépés is valamekkora valószínűséggel elfogadható: ez függ a rontás mértékétől (Δ) illetve a hőmérséklettől (T).

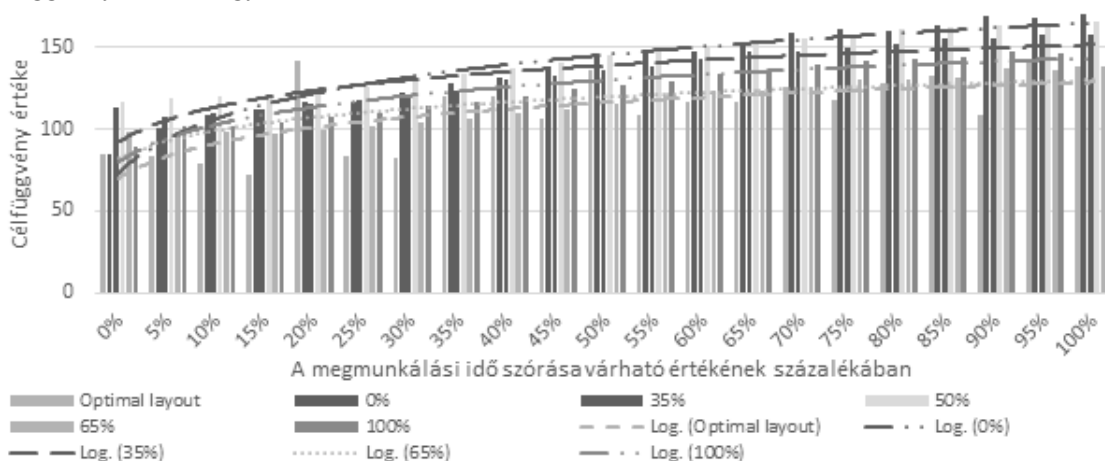
4. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

Mindkét algoritmust a 2. fejezetben bemutatott problémán teszteltük: a kísérletek célja a sztochasztikus paraméterek elrendezésre gyakorolt hatásának elemzése volt. Az algoritmus huszonegyszer futott le GA és SA esetén is: mindkét esetben a gépek megmunkálási idejének szórását a várható értékének százalékában változtattuk 0-100% között, 5%-onként. A 25%-os szórás esetén kapott megoldást mutatja a 2. ábra. Az algoritmusok minden futtatás esetében meghatároztak egy elrendezést – az ezekhez tartozó célfüggvény értékeket mutatja a 3. ábra.



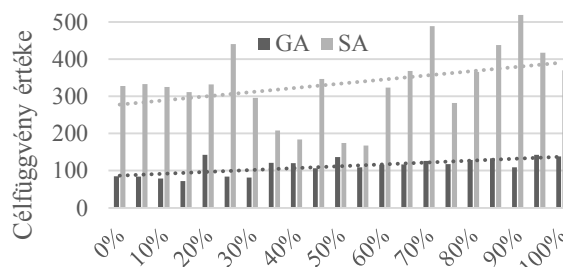
2. ábra. Megoldás 25%-os szórás esetén (az úthálózat optimalizálása nélkül)

Az eredmények alapján egyértelműen látszik, hogy a szórás növekedésével emelkedik a legkisebb elérhető célfüggvény értéke, másrészt megfigyelhető, hogy a SA segítségével kapott eredmények rosszabbak. Utóbbinak oka az, hogy a végső elrendezésben ezen esetekben maradt átfedés – a KPI nagy súlya miatt pedig a célfüggvény értéke nagymértékben nő.



4. ábra. A különböző szórásértékekkel számított elrendezések összehasonlítása

A 4. ábrán látható A különböző szórásértékekkel számított elrendezések összehasonlítása: egy adott szórásértéknél szinte mindig az az elrendezés volt a legjobb, amelyik az adott szórásértéknek megfelelően került



A megmunkálási idő szórása a várható értékének százalékában

3. ábra. A genetik algoritmus és a szimulált hűtés eredményeinek összehasonlítása

Vizsgáltuk az algoritmus futási idejének csökkenthetőségét a szimulációs modell ANN-el való becslésével és helyettesítésével [9], azonban ez nem hozott előrelépést a sztochasztikus jelleg modellezési korlátai miatt.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A célfüggvény értékek emelkedése elsősorban a gépek kihasználtságának csökkenésével, kisebb mértékben az úthálózat hosszának emelkedésével magyarázható. A vizsgálatok kiterjedtek arra is, hogy az adott szórásértéknél optimálisnak ítélt elrendezés teljesítménye hogyan alakul, ha a megmunkálási idők szórását megváltoztatjuk.

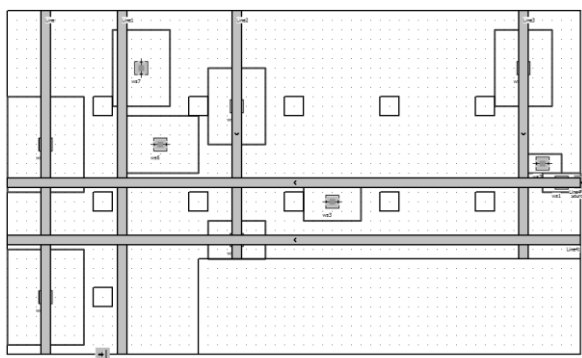
A 0, 35, 65, és 100%-os szórásnál kapott elrendezések esetén végrehajtottunk egy kísérletet, ahol 0 és 100% között, 5%-onként minden szórásértéknél 10 futtatást végeztünk az adott százalékhhoz tartozó, GA által optimálisnak ítélt elrendezésen (összesen 4*21*10 db kísérlet).

optimalizálásra (átlagosan 20%-kal). Ezek alapján megállapítható, hogy egyrészt nem létezik egy általánosan jó elrendezés (érdemes lefuttatni az adott szórásértékkel a szimulációs optimalizálást), másrészt, ha a termék életútja

közben változnak a (pl. megrendelési és megmunkálási idő) szórások, akkor érdemes újra optimalizálni az elrendezést!

6. ÚTHÁLÓZAT TERVEZÉSE

Az úthálózattal szemben támasztott fő követelmények: teremtsen kapcsolatot a megfelelő gépek között, viszont legyen a lehető legegyszerűbb. A mai gyárakra elsősorban a raszteres úthálózat jellemző – ezt a megoldást valósítja meg a Matlab® *k-means klaszterező* algoritmus segítségével megtervezett úthálózat is. A mérnök megadja, hogy egy-egy irányban maximálisan hány út engedhető meg, az algoritmus pedig meghatározza az utak szükséges számát és helyét. Az utak nem feltétlenül a már elhelyezett gépek mellett foglalnak helyet, így a gépek pozícióját minimálisan korrigálni kell – az 5. ábra még a korrekció előtti állapotot szemlélteti. Jelenleg az elrendezés és az úthálózat tervezése elkülönül, későbbi cél ezek integrálása.



5. ábra. Úthálózat a géppozíciók korrekciója előtt

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben egy diszkrét eseményalapú szimulációt használó elrendezés tervező algoritmus került bemutatásra, amely képes a gyártócsarnok (közel – near to) optimális elrendezése mellett az úthálózat megtervezésére is. A csarnok fizikai korlátainak (pl. falak, oszlopok) figyelembevétele mellett sztochasztikus paraméterek felhasználásával közelíti a valóságot. A módszer megtalálja a gépek függőleges és vízszintes irányú koordinátáinak, illetve orientációjának optimum közeli értékét a KPI-k súlyozott összegeként felépülő célfüggvénynek megfelelően. ***Az eredmények tükrözik, hogy az optimális elrendezés erősen függ a sztochasztikus paramétereiktől.***

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával megvalósuló

VKSZ_12- 1-2013-0038: "Stratégiai ipari ágazatok jövőbemutató gyártási technológiáihoz és termékeihez kapcsolódó térségi kutatási kompetenciáik megerősítése széleskörű együttműködésben megvalósított kutatásfejlesztési programmal" projekt és az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-16-2-II. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.



EMBERI ERŐFORRÁSOK
MINISZTERIUMA

9. IRODALOM

- [1] Singh, S.P., Sharma, R.R.. A review of different approaches to the facility layout problems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2006;30(5-6):425-433.
- [2] Drira, A., Pierreval, H., Hajri-Gabouj, S.. Facility layout problems: A survey. Annual Reviews in Control 2007;31(2):255-267.
- [3] Lacksonen, T., Ensore Jr, E.E.. Quadratic assignment algorithms for the dynamic layout problem. The International Journal of Production Research 1993;31(3):503-517.
- [4] Al-Hakim, L.A.. Two graph-theoretic procedures for an improved solution to the facilities layout problem. The international Journal of Production Research 1991;29(8):1701-1718.
- [5] Niroomand, S., Vizvári, B.. A mixed integer linear programming formulation of closed loop layout with exact distances. Journal of Industrial and Production Engineering 2013;30(3):190-201.
- [6] Kulturel-Konak, S.. Approaches to uncertainties in facility layout problems: Perspectives at the beginning of the 21st century. Journal of Intelligent Manufacturing 2007;18(2):273-284.
- [7] Heragu, S.S., Kusiak, A.: Efficient models for the facility layout problem. European Journal of Operational Research, 1991;53(1):1-13.
- [8] Fu, M.C.. Simulation optimization, Proceedings of the 33rd conference on Winter simulation. IEEE Computer Society; 2001, p. 53-61.
- [9] Monostori, L., Viharos, J.. Hybrid, ai- and simulation-supported optimisation of process chains and production plants. CIRP Annals-Manufacturing Technology 2001;50(1):353–356.
- [10] Grajo, E.S.. Strategic layout planning and simulation for lean manufacturing a layout tutorial. In: Proceedings of the 27th conference on Winter simulation. IEEE Computer Society; 1995, p. 510-514.
- [11] Global Optimization Toolbox: User's Guide (r2015b). The MathWorks Inc.; Natick, Massachusetts; 2015.