

TERMELÉSTERVEZÉSI ÉS -IRÁNYÍTÁSI FELADATOK MEGOLDÁSA TÖBBCÉLÚ KERESÉSI MÓDSZER ALKALMAZÁSÁVAL

SOLVING PRODUCTION PLANNING AND CONTROL TASKS USING MULTI-OBJECTIVE SEARCH METHOD

Dr. Kulcsár Gyula^{}, Dr. Bikfalvi Péter^{**}*

ABSTRACT

The paper outlines a new approach to solve some tasks of production planning and control in discrete production processes. A mathematical model based on relative comparison is developed to support qualifying solutions according to multiple objectives. The paper presents the details of the mathematical model and outlines the basic methods of the proposed approach for solving production fine scheduling problems.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a korszerű vállalatirányítási tevékenység kiterjed a vállalat működésével összefüggő összes területre. Egy vállalat egészének működését és annak folyamatait célszerű a tervezés, az előkészítés, a végrehajtás és az ellenőrzés szakaszaira bontani.

Az ipari gyártási technológiák egy részében a termékegyedek és a folyamatlemek térben és időben egymástól jól elkülöníthetők. Az ilyen jellegű technológiai folyamatokra alapozott termelést szokás diszkrét termelési folyamatnak nevezni (ilyen például az alkatrészgyártás és szerelés).

Általában a diszkrét termelési folyamatok tervezése és irányítása több, hierarchikusan egymásra épülő szinten megy végbe. A magasabb szint hosszabb időszakot fog át és csak a fontosabb szempontokkal foglalkozik. Az alacsonyabb szinten a felsőbb szintről kapott irányítási döntések alapján hozzák meg az egyre részletesebb, de egyre rövidebb időperiódusra vonatkozó irányítási döntéseket. Ha az alacsonyabb szint megoldhatatlan feladatot kap (például azért, mert a körülmények közben megváltoztak), akkor visszajelez a közvetlenül felette lévő szintre, ahol módosítást kell végrehajtani.

A gyakorlatban általában jól elkülönül a hosszú távú stratégiai tervezés, a közép távú aggregált tervezés valamint a rövid távú termelésütemezés, -programozás és végrehajtás feladatköre.

2. DISZKRÉT TERMELÉSI FOLYAMATOK TERVEZÉSE

Vállalati szinten, időben, az éves gazdálkodási és termelési terv elkészítése az egyik legmeghatározóbb tervezési szakasz. Ez, a vállalati stratégiának alávetve, a vállalati profitorientált gazdasági célok megvalósítását tűzi ki. Az éves tervezés jellemzően a konkrét vevői rendelések és a várható értékesítések prognózisadatainak alapján készített különböző tervvariációk integrálását jelenti. A termelés szempontjából a vállalati vezetés ebben a szakaszban egy olyan tételes végtermék-kiszállítási (aggregált) tervet készít, amelynek az erőforrások oldaláról reális fedezete van.

Az így kialakított termelési főterv (Master Plan) jellemzően nem csak a végtermékekre, hanem a tartalék szerelvényekre és szerviz alkatrészekre is vonatkozik.

Az aggregált tervezés második fázisa a termelési főterv primér szükségleteiből részben a konkrét piaci igényeknek (határidőknek) megfelelően, részben a különböző termékek gyártmányszerkezetének lebontása után a készletek alakulását figyelembe véve sorozatos „nettósítást” végez, megadva minden egyes tétel ún. nettó anyag- és erőforrás szükségletét.

Az aggregált termelési tervezési és -irányítási feladatok megoldása néhány kulcsfontosságú teljesítménymutató mentén szokott megvalósulni. Ilyen mutatók utalhatnak például a (vevők által elfogadott) szállítókészségre, a (minél alacsonyabb) készletszintre és a (vállalati vezetés által elfogadható) kapacitások kihasználtságára [1].

A vállalatirányításban használt modern ERP (Enterprise Resource Planning) rendszerek ezt a feladatot jellemzően elfogadható módon el tudják végezni. Napjainkban az anyagszükséglet tervezés által meghatározott rendelési mennyiségek a vásárolt tételeket tekintve általában elfogadhatók és indíthatók, azonban a saját gyártású és/vagy szerelésű tételeknél szükség van a további finomításokra, részletesebb kivitelezési programokra, amelyek figyelembe veszik a rendelkezésre álló berendezések kapacitáskorlátait.

^{*} egyetemi docens, Miskolci Egyetem Alkalmazott Informatikai Tanszék

^{**} egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem Alkalmazott Informatikai Tanszék

3. DISZKRÉT TERMELÉSI FOLYAMATOK IRÁNYÍTÁSA

A diszkrét gyártási folyamatok alapeleme a művelet. A műveletek meghatározott gépeken, berendezéseken, munkahelyeken meghatározott sorrendben, különböző szerszámok, készülékek használatával, meghatározott technológiai adatokkal végezhető el. A műveletek között rendszerint bonyolult kapcsolatrendszer áll fenn (pl. megelőzési relációk, stb.). A műveletek végrehajtását a munkahelyek (pl. kézi munkahelyek, automatizált technológiai berendezések, stb.) valósítják meg. A munkahelyek rendszerint nagyobb irányítási egységekbe (gyártócsoporthoz, gyártócellákba, gyártórendszerekbe, gyártóműhelyekbe) szervezve funkcionálnak. Az ilyen összetett, sok erőforrásból felépülő gyártórendszerek irányítása során fellépő részfeladatokat szoros integrációban célszerű megoldani. Ennek megfelelően, a korszerű gyártásirányítás legfontosabb feladataihoz tartozik: (1) a középtávú termelési tervek rövidtávú feladatokra bontása, a feladatok ütemezése, finomprogramozása; (2) a feladatok végrehajtásához szükséges anyagi, személyi és információs feltételek biztosítása; (3) a feladatok eszközökhöz rendelése, kiosztása és elindítása; (4) a folyamatok valós idejű felügyelete, megfigyelése és irányítása; (5) a végrehajtás minőségének biztosítása, (6) teljesítménymutatók számítása és az eredmények értékelése; (7) a bizonytalanságok és a váratlan események kezelése.

A gyártásirányítási feladatok támogatására több funkcionális komponensből álló MES (Manufacturing Execution System) rendszerek alakultak ki. A MES célja a gyártási folyamatok végrehajtásának optimális irányítása, az aktuális üzleti és műszaki célok lehető legjobb megvalósítása. Ennek megfelelően a MES hatóköre alapvetően a belső rendelések kibocsátásától a késztermék előállításáig terjed és kettős szerepet játszik. Egyrészt aktuális adatok gyűjtésével, ellenőrzésével, elemzésével és felhasználásával gondoskodik a tervezett tevékenységek időbeli ütemezéséről, elindításáról, irányításáról, a végrehajtás felügyeletéről, másrészt a termelési aktivitásokról feladat-specifikus információkat szolgáltat a vállalat döntési folyamatainak támogatásához.

A MES-funkciók egy többszörösen visszacsatolt, bonyolult szabályozási rendszert alkotnak. A különböző modulok illesztése, konfigurálása és finomhangolása a kereskedelmi MES rendszerek alkalmazásának egyik elengedhetetlen feltétele. Mivel a technológiai folyamatok nagyon különbözőek lehetnek, ezért hatékony irányításuk is különböző modelleket igényel. Az ilyen rendszerek funkcióinak és szolgáltatásainak fejlesztése széleskörű elmélet- és gyakorlatorientált kutatás tárgyát képezi napjainkban is.

4. MEGOLDÁS-VÁLTOZATOK ÉRTÉKELÉSÉNEK MATEMATIKAI MODELLJE

A termelésstervezés és –irányítás különböző szintjein jelentkező optimalizálási feladatokban fontos szerepet játszik a különböző megengedett megoldás-változatok összehasonlítását és értékelését támogató modell. Az olyan optimalizálási feladatokban, amelyekben az optimalizálás célja egyetlen célfüggvénnyel megadható, két különböző megoldás minőségének összehasonlítása egyszerű, mert elegendő a különböző megoldások célfüggvény-értékeit kiszámítani és azok alapján könnyen számszerűsíthető a minőségbeli különbség.

Sokkal nehezebb a különböző megoldások minőségének összehasonlítása a többcélú optimalizálási feladatokban. Több optimalizálási cél esetén ugyanis különböző dimenziójú és értékészletű célfüggvények szerepelhetnek, amelyek gyakran egymással valamilyen (legtöbbször pontosan nem is ismert vagy nehezen értelmezhető) kölcsönkapcsolatokban állhatnak. Az ilyen feladatoknak csak kivételes esetekben van olyan megoldása, amely az összes célfüggvény szempontjából egyszerre tekinthető optimálisnak. Kompromisszumos megoldás értelmezéséhez és megtalálásához szükséges annak definiálása, hogy milyen szempontok szerint és hogyan hasonlíthatók össze a lehetséges megoldások.

Egy új szemléletű, a különböző szoftverekben rugalmasan és könnyen adaptálható matematikai modellt fejlesztettünk ki a különböző típusú, értékészletű és fontosságú összetevőkből felépülő változatos célfüggvény-rendszereket kezelésére. A módszer alapelve a következő: Két megoldás jóságának az összehasonlítása nem a megoldások külön-külön vett abszolút jóságának valamilyen módszerrel végrehajtott számszerűsítésén, majd ezek összehasonlításának eredményén alapul, hanem az egyik megoldásnak a másikkal viszonyított (relatív) jósága kerül számszerűsítésre, és ennek alapján dönthető el az, hogy melyik tekinthető jobb megoldásnak.

Jelölje S a megengedett megoldások halmazát, és fogalmazzuk meg a K darab különböző célfüggvényét minimalizálandó alakban a következőképpen:

$$f_k : S \rightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{0\}, \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}. \quad (1)$$

Jelentsen s_x és s_y két különböző lehetséges megoldást, melyek a teljes S megoldási térben értelmezettek, továbbá legyen w_k az f_k célfüggvény fontosságát kifejező nem negatív egész érték (prioritásérték). Vezessük be a következő kétváltozós függvényeket:

$$F : S^2 \rightarrow \mathbb{R}, F(s_x, s_y) = \sum_{k=1}^K (w_k \cdot D(f_k(s_x), f_k(s_y))), \quad (2)$$

$$D : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}, D(a, b) = \begin{cases} 0, & \text{ha } \max(a, b) = 0 \\ \frac{b-a}{\max(a, b)}, & \text{egyébként} \end{cases} \quad (3)$$

Ezek alapján az $F(s_x, s_y)$ előjeles függvényérték jelenti az s_y megoldásnak az s_x megoldáshoz viszonyított relatív jóságát, melynek felhasználásával az alapvető relációs operátorok ($<$, \leq , $>$, \geq , $=$, \neq) értelmezése kiterjeszthető az S -beli s_x és s_y megoldásokra a következőképpen:

$$(s_x ? s_y) := (F(s_x, s_y) ? 0). \quad (4)$$

Ha az $F(s_x, s_y)$ kétváltozós függvény értéke negatív, akkor az s_x jobb megoldás mint az s_y , ha pozitív, akkor rosszabb. Nulla érték esetén egyformán jó a két megoldás.

Az ilyen módon – a célfüggvények értékeire alapozva közvetlenül a lehetséges feladatmegoldások halmazán – értelmezett relációs operátorok felhasználásával lehetővé válik a különböző megoldások páronkénti összehasonlítása és értékelése. Ezáltal a valós számok körében alkalmazott relációs operátorokkal teljes mértékben megegyező módon, különböző stratégiák szerint kiválasztható a legjobb megoldás (ha csak egyetlen optimum létezik) vagy egy megoldás a legjobb megoldások halmazából (ha több optimum létezik).

A D függvényben a max helyett más, alkalmasan megválasztott függvény is használható (pl. $(a+b)/2$, stb.). A módszer lényege – a páronkénti relatív minősítés elve – megmarad. A módszer még tovább általánosítható, ha a mindenkor optimalizálási feladatban szereplő célfüggvények jellegzetességeit figyelembe véve, komponensenként (vagy komponenscsoportonként) eltérő D függvényvariánsok szerepelnek az F függvényben.

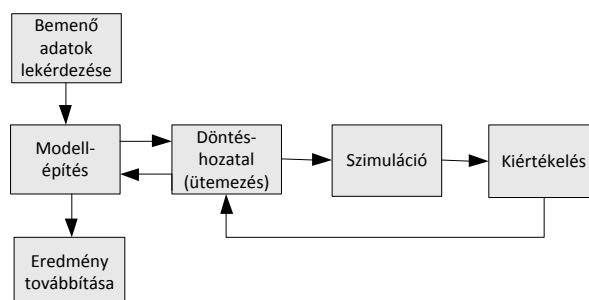
A módszer többféle feladat-megoldási stratégiában is jól felhasználható az aktuális céloknek legjobban megfelelő megoldás megtalálására. Ez azt jelenti, hogy a módszer széles problémakörben felhasználható ismert keresési algoritmusok és meta-heurisztikák (pl. tabukeresés, szimulált hűtés, genetikus és evolúciós algoritmusok, stb.) részeként, kombinatorikus többcélú optimalizálási feladatok megoldására.

5. TÖBBCÉLÚ KERESÉSI MÓDSZERRE ALAPOZOTT TERMELÉSPROGRAMOZÁS

A diszkrét termelési folyamatok műhelyszintű előidejű (prediktív) és valós idejű (reaktív) ütemezése mind elméleti, mind gyakorlati szempontból az erősen modellfüggő és komplex kombinatorikus optimalizálási feladatok közé tartozik. Ennek következtében nagyon sokféle ütemezési feladattípus ismert [6]. A napjaink ipari gyakorlatában egyre fontosabbá váló, rugalmas és igény szerinti gyártási folyamatok irányítása szükségessé teszi az ismert ütemezési modellek további jelentős kiterjesztését annak érdekében, hogy olyan szoftvermodulokat tudjunk implementálni, amelyek a különböző modellváltozatokat is képesek hatékonyan támogatni.

A termelési folyamatok finomprogramozásakor a termelő rendszer lehetőségeit, képességeit és korlátait figyelembe véve, a belső rendelések teljesítéséhez szükséges munkák időbeli végrehajtását kell megtervezni. Ennek során a szükséges erőforrások allokálását és a feladatok végrehajtásának indítási időpontját kell megtervezni úgy, hogy a vállalat magasabb szintjén megfogalmazott célok és a gyártásirányítás járulékos saját belső céljai egyaránt megvalósuljanak.

A különböző ütemezési feladat-osztályokba besorolható feladatok megoldására egy többcélú, integrált, heurisztikus keresési technikára alapozott megoldási módszert fejlesztettünk ki. Ennek részletei megtalálhatók pl. a [3], [4] és [5] cikkekben. A megoldási koncepció elvi vázolata az 1. ábrán látható.



1. ábra. Szimulációra alapozott termelésprogramozás

A termelésinformatikai rendszer adatbázisában tárolt adatok és az interaktív felhasználói felületen keresztül beállított adatok felhasználásával egy modellépítő komponens definiálja a rendszerben lévő objektumokat. Kiemelt fontosságú feladata a belső rendelésekhez kapcsolódó munkák és az érvényben lévő korlátozások definiálása. A korlátozások közül az előírt vagy számítható belső határidőket „puha” (adott esetben megsérthető) korlátozásoknak tekintve alkalmas célfüggvények megválasztásával a csúszások és késések minimalizálása ütemezési kritériumként jelenik meg. A további (pl. technológiára, anyagmozgatásra, erőforrásra, végrehajtásra vonatkozó stb.) korlátozások „kemény” (meg nem sérthető) előírásokká válnak. A szükséges rendelkezésre állási, alkalmazhatósági és megvalósíthatósági vizsgálatok elvégzését követően a modellépítő komponens felépíti a modellobjektumok között fennálló teljes kapcsolatrendszerét. Ennek elsődleges célja az, hogy a feladatmegoldás során minden egyes döntési helyzetben a választható alternatív lehetőségek (a döntési változók megengedett értékei) világosan és könnyen felismerhetők legyenek.

A belső rendelések ütemezési alapegységekre bontásával önálló munkák jönnek létre. Ezek ütemezése önálló független döntési változók értékének megválasztásával valósul meg. Az ütemező modul minden egyes munkához hozzárendel egy megfelelő végrehajtási útvonalat, továbbá hozzárendel egy

megfelelő gépet a kiválasztott útvonal minden egyes végrehajtási lépésének megfelelő gépcsoportból, és meghatározza minden érintett gépen a munkák végrehajtási sorban elfoglalt pozícióját. Ezáltal az ütemező algoritmus a munkákhoz hozzárendeli a konkrét feladatlistát, és így a gépeken a gyártási sorozatnagyságok és az azokat elválasztó átállítási műveletek a döntési változók függvényében ütemezés közben alakulnak ki. Nincs szükség előzetes sorozatnagyság tervezésre, ez a funkció az ütemező hatáskörébe tartozik. A gyártási modelltípustól függően bizonyos esetekben az ütemező az erőforrások rendelkezésre állási időintervallumait is döntési változóként kezeli (integrált műszakbeosztási funkció), míg más esetekben ezek egy bemenő adathalmazból származtatott korlátozó feltételek formájában jelennek meg. Az ütemezési (döntéshozatali) folyamat eredményeként elkészül egy termelési ütemterv.

Az ütemtervben szereplő feladatok végrehajtásához kapcsolódó időadatok számítását egy megfelelően gyors végrehajtás-vezérelt szimulációs eljárás végzi el. A szimuláció figyelembe veszi az egyes gépek rendelkezésre állási időintervallumait, az egyes gépeken az adott munkák sorrendje által meghatározott átállítási időket, a munka-gép összerendelések alapján számítható megmunkálási időket és az egyéb kapcsolódó járulékos időket. A szimuláció közben ismertté válik az egyes feladatok gépenkénti tervezett – és következményként a munkák, valamint a megrendelések származtatott – indítási és befejezési időpontja.

A szimuláció által számított időadatok és egyéb értékek felhasználásával egy értékelő komponens kiszámítja a megoldásra vonatkozó célfüggvény értékeket és teljesítménymutatókat. Ezek figyelembevételével az aktuálisan vizsgált megoldás és az addig legjobbnak ítélt megoldás egymáshoz viszonyított (relatív) minőségének számszerűsítésével kiértékelésre kerül a megoldás.

Az ütemező modul iteratívan módosítja az aktuális ütemtervet, konzisztens változtatásokkal új megoldás-változatokat készít, majd szimulációt és kiértékelést követően a célfüggvény-értékektől függően tovább folytatódhat a legjobb megoldás keresése.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben röviden vázoltuk a diszkrét termelési folyamatok számítógépes tervezésével és –irányításával kapcsolatban felmerülő legfontosabb feladatokat. Bemutattunk egy új szemléletű, többcélú megoldás-értékelő modellt, valamint annak keresési algoritmussal és szimulációval kombinált hatékony alkalmazását termelésprogramozási feladatok megoldására.

Munkánk során újabb és újabb gyártási jellemzőket, alternatívákat és korlátozásokat magukba foglaló termelésprogramozási modelleket dolgoztunk ki.

Modelljeink egyre általánosabb érvényességgel definiálják és kezelik a gyártási műveletek jellemzőit, a gyártóeszközök képességeit, a technológiai útvonalak alternatíváit, a szerszámok alkalmazhatóságát, a műveletközi tárolók kapacitását, a műveletvégzési és anyagmozgatási időket.

A kidolgozott modellek és módszerek alapján implementált termelésprogramozó szoftvereink a bemenő adatok formájában megadott aktuális gyártási erőforrás-környezet, belső rendelkezések, korlátozások és célfüggvények alapján képesek automatikusan elkészíteni a kijelölt gépek részletes termelési finomprogramját. A szoftverek automatikus, kézi és kombinált üzemmódokat egyaránt támogatnak.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

- [1] BIKFALVI, P., ERDÉLYI, F., TÓTH, T. (2012) Multi-objective Approach for Performance Management of Manufacturing Systems. XXVI. microCAD International Scientific Conference, Miskolc, Hungary, (CD).
- [2] ERDÉLYI F., TÓTH T., KULCSÁR GY., MILEFF P., HORNYÁK O., NEHÉZ K., KÖREI A. (2009) New Models and Methods for Increasing the Efficiency of Customized Mass Production. Journal of Machine Manufacturing, XLIX (E2):11-17.
- [3] KULCSÁR GY. (2011) A Practice-Oriented Approach for Solving Production Scheduling Problems. XXV microCAD International Scientific Conference, Miskolc, Hungary, 61-66.
- [4] KULCSÁR GY., ERDÉLYI F. (2007) A New Approach to Solve Multi-Objective Scheduling and Rescheduling Tasks. International Journal of Computational Intelligence Research, 3 (4):343-351.
- [5] KULCSÁR GY., KULCSÁRNÉ F. M. (2009) Solving Multi-Objective Production Scheduling Problems Using a New Approach. Production Systems and Information Engineering, A Publication of the University of Miskolc, 5:81-94.
- [6] LEI D. (2009) Multi-objective production scheduling: a survey. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 43 (9-10):926-938.
- [7] VENKATESWARAN J., SON Y.J. (2005) Hybrid system dynamic—discrete event simulation-based architecture for hierarchical production planning. International Journal of Production Research, 43 (20):4397-4429.