

Módszer köztes tárolókat nem tartalmazó szakaszos működésű rendszerek ütemezésére

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Holczinger Tibor

Témavezető: Dr. Friedler Ferenc

Veszprémi Egyetem

Műszaki Informatikai Kar

Informatikai Tudományok Doktori Iskola

2003

Tartalmi összefoglaló

Ütemezési feladatok széles körben fordulnak elő a műszaki termelő folyamatokban, így például a gépiparban, gyógyszeriparban, olajiparban, mezőgazdaságban és az építőiparban. Az ilyen folyamatok egyre bonyolultabbá válásával tervezésük és működtetésük egyre nehezebb feladat. A gyakorlatban előforduló folyamatok nagy része szakaszos működésű, melyekben a termékeket több egymás után végrehajtott lépésben, taszkban, állítják elő, ahol feltételezés szerint egy taszk végrehajtásának kezdeti időpontjától a befejezéséig nincs ki- és bemenő anyagárama. Minden egyes termékre adott az előállítandó termékmennyiséghez szükséges batch-ek száma, azaz hogy hányszor kell a termék előállítási folyamatát végrehajtani.

Egy ütemezési feladat megoldása során a taszkokhoz végrehajtó berendezéseket rendelünk, és minden berendezéshez megadjuk az általa végrehajtandó taszkok végrehajtási sorrendjét adott célfüggvény szerint optimális módon. Mivel egy feladathoz több, a célfüggvény értékében lényegesen eltérő megoldás is lehet, ezért gyakorlati szempontból fontos az optimális vagy közel optimális megoldások meghatározására alkalmas módszerek kifejlesztése.

Az ütemezési feladatok nagyfokú kombinatorikus bonyolultsága és az ipari feladatok nagy mérete miatt a szakirodalomból ismert matematikai modellekben szereplő egész típusú változók száma nagy. Tekintettel arra, hogy ezek megoldása nehéz, az eddig ismert megoldási módszerek jelentős része a gyakorlati tapasztalatoknak megfelelően megfogalmazott heurisztikus szabályokon alapul a számítási igény és a keresési tér szűkítése céljából. Így azonban az optimális megoldás meghatározása általában nem biztosítható. Egy másik használatos megközelítés szerint speciális MILP (vegyes egész lineáris programozás) vagy MINLP (vegyes

egész nemlineáris programozás) típusú matematikai modellt állítanak fel, amit általános célú megoldó szoftvereszközökkel oldanak meg. A matematikai modellben szereplő bináris változók nagy száma miatt ez a megközelítés a gyakorlatban nehezen vagy alig használható.

Újabb lehetőség az ütemezési feladatok matematikai leírásához a gráfelméleti eszközök alkalmazása. A dolgozatban használt matematikai modell olyan gráf leíráson (S-gráf, Sanmartí és társai, 1998) alapul, amely kihasználja az ütemezési feladatok speciális tulajdonságait, ezáltal hatékony megoldó algoritmusok kidolgozását teszi lehetővé. Munkám során az S-gráfon alapuló matematikai modellhez illesztett szétválasztás és korlátozás (branch-and-bound, B&B) algoritmust tekintettem alapalgoritmusnak (Sanmartí és társai, 2002), amelyhez olyan gyorsító eljárásokat dolgoztam ki, melyek segítségével eddig megoldhatatlan méretű feladatok megoldására nyílt lehetőség.

Új tudományos eredmények

Új tudományos eredményeimet az 1-3 tézisekben foglaltam össze.

1. Tézis: Az ütemezési feladat kombinatorikus tulajdonságait figyelembe véve olyan egységes matematikai modellt dolgoztam ki S-gráf alkalmazásával a feladat leírásához, amely hatékony megoldó algoritmusok kidolgozását teszi lehetővé.
 - 1.1. Bevezettem a „recept-gráf” és a „betáplálási-sorrend gráf” fogalmát, amelyek az ütemezési feladatok leírásában szereplő strukturális tulajdonságokat a megoldó algoritmusok számára célszerű módon tartalmazza.

- 1.2. Meghatároztam két olyan strukturális feltételt, amelyek teljesülése szükséges és elegendő feltétele annak, hogy egy S-gráf az ütemezési feladat megoldását reprezentálja.
 - 1.3. Meghatároztam két olyan strukturális feltételt, amelynek teljesülésével az ütemezési feladat megoldását reprezentáló S-gráf minimális abban az értelemben, hogy él elhagyásával nem ír le megoldást.
2. Tézis: Gyorsító módszert dolgoztam ki a Sanmartí és társai (2002) által kidolgozott alapalgoritmushoz arra a gyakorlatban fontos esetre, amikor egy termékből több (rendszerint nagyszámú) batch előállítására van szükség.
- 2.1. Algoritmikusan szűkítettem a keresési teret segéd-élek bevezetésével, melyek segítségével a batch-ek sorrendje előre meghatározható, és az optimum biztosítható.
 - 2.2. Megvizsgáltam a batch-ek sorrend megkötésének speciális esetét, amikor további segéd-élek felvételével illetve transzformációjával a 2.1. tézispontban leírt módszerhez képest tovább csökkentettem a keresési teret.
3. Tézis: Két általánosan használható gyorsító eljárást fejlesztettem ki az S-gráf leíráson alapuló B&B ütemezési alapalgoritmushoz, amelyek közül az első a keresési teret csökkenti, a második pedig élesebb alsó korlát meghatározását teszi lehetővé.
- 3.1. Algoritmust dolgoztam ki, amelynek segítségével egy az alapalgoritmus által generált részfeladatnál a leszármazottak megoldása nélkül fel lehet ismerni, hogy a leszármazottak között nincs megoldás (un. look-ahead gyorsítás).
 - 3.2. Megadtam egy lineáris programozási (LP) modellt, amely az aktuális részfeladat S-gráfjából elérhető

ütemezési-gráfokhoz tartozó leghosszabb út hosszára alsó korlátot ad. Ez nagy számú egész változó esetén, amikor kevés egész változó van rögzítve a B&B keresés során, jól használható módszernek bizonyult. Eljárást vezettem be, mellyel az LP modell megoldása előtt meghatározhatjuk, hogy az alsó korlát legfeljebb mennyivel növekedhet a szülő részfeladathoz képest. Ha ez az érték nulla, akkor felesleges az LP modell megoldás erre a részfeladatra.

Gyakorlati alkalmazások

A dolgozatban leírt algoritmusokat és eljárásokat C++ nyelven valósítottam meg és hatékonyságukat szakirodalmi és ipari feladatokon teszteltem. A szakirodalmi feladaton a leírt módszerrel a korábban publikált eredményekhez képest jelentős gyorsulást értem el. A megoldott ipari feladathoz hasonló méretű megoldott feladat a szakirodalomban nem elérhető. A program a feladat, amely 99 taszkot és 19 berendezést tartalmaz, bizonyítottan optimális megoldását fél percen belül meghatározta egy 1.2 GHz-es Intel Celeron PC-n.

Az értekezés témakörében megjelent publikációk és elhangzott előadások

Publikációk referált nemzetközi folyóiratokban

Romero, J., T. Holczinger, F. Friedler, and L. Puigjaner, 2003, Scheduling Intermediate Storage Multipurpose Batch Plants Using the S-graph, accepted for AIChE Journal.

Holczinger, T., J. Romero, F. Friedler, L. Puigjaner, 2002, Scheduling of Multipurpose Batch Processes with Multiple Batches of the Products, Hungarian Journal of Industrial Chemistry, **30**, 305-312.

Sanmartí, E., T. Holczinger, L. Puigjaner, F. Friedler, 2002, Combinatorial Framework for Effective Scheduling of Multipurpose Batch Plants, *AIChE Journal*, **48**(11), 2557-2570.

Nemzetközi konferencia előadások

Romero, J., T. Holczinger, F. Friedler, L. Puigjaner, 2002, Modeling the Scheduling of Common Intermediate Storage Multipurpose Batch Process Using a Graph Theoretical Approach, presented at the AIChE Annual Meeting, Indiana, U.S.A., November 7.

Holczinger, T., I. Heckl, A. C. Kokossis, F. Friedler, 2001, Accelerated contextual optimization for scheduling large-scale HPC liquid factories, presented at the AIChE Annual Meeting, Reno, NV, U.S.A., November 4-9.

Holczinger, T., L. Kalotai, F. Friedler, 2000, Scheduling of Process Systems Comprising Continuous and Batch Operations, presented at the CHISA 2000 (14th International Congress of Chemical and Process Engineering), Praha, Czech Republic, August 27-31.

Holczinger, T., L. Kalotai, F. Friedler, 2000, Scheduling of Process Systems Comprising Continuous and Batch Operations, presented at the 20th Workshop on Chemical Engineering Mathematics, Veszprém, Hungary, July 26-29.

Holczinger, T., F. Friedler, L. T. Fan, 1998, Process Synthesis for Retrofit Design, presented at the CHISA '98 (13th International Congress of Chemical and Process Engineering), Praha, Czech Republic, August 23-28.