

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Optimalizálás energiaellátó és szolgáltató rendszerekben

Éles András

Témavezető:
Dr. Heckl István

Pannon Egyetem
Műszaki Informatikai Kar
Rendszer- és Számítástudományi Tanszék

Informatikai Tudományok Doktori Iskola

Veszprém
2022

1. Bevezetés

A mai ellátási láncok, ipari és logisztikai rendszerek rendkívül bonyolultak. Ha a döntéshozatal csak a legjobb gyakorlatok és az intuíció alapján zajlik, könnyen mehetnek veszendőbe erőforrások, illetve profit. Az optimalizáláshoz számítógépes eszközök szükségesek, hogy egy folyamat lehető legjobb megvalósítási és működési tervét megtaláljuk. Ezen eszközök nem pusztán gazdasági szempontból lehetnek hasznosak. A fenntarthatóság az emberiség egyik legnagyobb kihívása manapság. A folyamatok fenntarthatósági szempontból való vizsgálata új célok és korlátozások megfogalmazásához vezethet. Ezek igény szerint beépíthetők az optimalizálás folyamatába, így a döntéshozatal során is nagyobb figyelmet kaphatnak.

A kutatásaim során több projekten is dolgoztam, amelyek valami gazdasági vagy fenntarthatósági célt tűztek ki. A célom optimalizáló módszerek kidolgozása volt bizonyos feladatokra, de a lehető legáltalánosabb felhasználásra. Ezen módszerek célja a döntéshozatal támogatása, emellett viszont úgy lettek kifejlesztve, hogy a jövőben további módszerek kifejlesztését is elősegítsék. Két fő irányban sikerült jelentős eredményeket elérnem. Az első irány az energiafelhasználás optimalizálása lokális szinten, amelyre egy optimalizáló modellt fejlesztettem ki. Ezen túlmenően az alkalmazott megoldó módszert, a P-Gráf módszertant kiegészítettem egy új technikával, a rugalmas bemenetű műveletekkel. A másik irány a mobil munkaerő menedzsment feladatok költséghatékony kivitelezése, amelyre egy matematikai programozási modellen alapuló keretalgoritmust fejlesztettem ki.

2. Alkalmazott módszerek

Az eredmények az alábbiakban megfogalmazható komplex tudásra épülnek.

- Folyamathálózatok szintézise a P-Gráf módszertan segítségével, a kapcsolódó optimalizáló algoritmusok, különösen az Accelerated Branch and Bound módszer, valamint modellezési technikák P-Gráfokkal, ezen belül is kifejezetten a többperiódusú modellezési séma.
- Matematikai programozási modellek, azon belül is kevert-egészes lineáris programozási modellek hatékony tervezése, fejlesztése, implementációja és megoldása, valamint az ilyen modellekre épülő heurisztikák tervezése.
- Szakoridalmi példák széles skálájának ismerete, amelyek hasonló célokat fogalmaznak meg, hasonló esettanulmányokról szólnak, illetve használható modellezési eljárásokat, trükköket tartalmaznak, amelyek a jelen munkában is hasznosnak bizonyultak.

3. Új tudományos eredmények

Az alábbi három tézis foglalja össze az új tudományos eredményeimet. Minden egyes tézisem a PhD disszertációm egy-egy kijelölt fejezetében került részletes kifejtésre.

Tézis 1. Egy P-Gráf modellt fejlesztettem ki, és demonstráltam a működését. A modell célja energiaellátás optimalizálása különböző biomassza-típusok és napenergia potenciális felhasználásával a szolgáltatótól vásárolt gáz és elektromos áram lehetséges kiváltása végett, egy gyár számára. A modell könnyen adaptálható hasonló, energiaellátás optimalizálását magában foglaló problémákra.

Kapcsolódó publikációk: [S2], [S3].

T1.1. Új műveleti egység modelleket vezettem be a pelletáló és a biogáz-termelő berendezések reprezentációjára. Ezek egyidőben több különböző biomassza típus rugalmas, egymástól független bemenetét teszik lehetővé. A modellek PNS implementációjában össztömeg alapján számítunk kapacitást a fűtőérték helyett. Ez pontosabb modellt eredményez, amit az esettanulmányban demonstráltam is.

T1.2. Többperiódusú kiterjesztést készítettem a modellhez, amely a szezonális napenergia, valamint a hő- és elektromos energia igényeinek precízebb reprezentációját teszi lehetővé azáltal, hogy szétválasztja az éves termelést egy téli és egy évközi periódusra. Az ezen modellből kapott eredmények alapján a biomassza és a napenergia használata gazdaságos lehet, azonban ehhez hosszú megtérülési időre volt szükség ebben a konkrét esettanulmányban.

Tézis 2. Egy új modellezési technikát fejlesztettem ki a P-Gráf módszertanhoz, amely lehetővé teszi rugalmas bemenetekkel rendelkező tevékenységek modellezését, a bemeneteik összetételére vonatkozó tetszőleges korlátozásokkal, tisztán PNS feladatként, amit közvetlenül meg lehet oldani a P-Gráf modellekre létező algoritmusokkal, mint például az ABB algoritmussal.

Kapcsolódó publikációk: [S4], [S6].

T2.1. Kilenc scenáriót vettem figyelembe, amelyek különböző modellezési célokat fogalmaznak meg bemeneti összetételekre és korlátozásokra. P-Gráf modelleket fejlesztettem ezen esetekhez, és a lehetséges megoldásstruktúrákat megvizsgáltam. A végső scenárió lehetővé teszi az egymástól független bemeneteket tetszőleges lineáris korlátozásokkal együtt. A rugalmas bemenetek fontossága és a módszer alkalmazhatósága két esettanulmány keretében lett demonstrálva, amelyben egy gyáron belüli pelletáló és biogáztermelő berendezések modelljei, illetve egy vidéki biomassza alapú ellátási láncon belül fermentorok modelljei szerepeltek.

Tézis 3. Egy új módszert fejlesztettem ki és teszteltem, amellyel mobil munkaerő menedzsment feladatokat lehet megoldani. Ez a megközelítés egyszerre több probléma-jellemzőt tud kezelni. A módszer egy MILP modellen alapszik, amelyet meg lehet oldani egészében, vagy egy algoritmikus keretrendszer részeként, amely képes heurisztikus megoldásokat találni nagyobb méretű feladatok esetén. Mindkét módszer képességei és korlátjai teszt sorozatokkal lettek megvizsgálva.

Kapcsolódó publikációk: [S1], [S5].

T3.1. Egy MILP modellt fejlesztettem ki, amely megoldást nyújt a mobil munkaerő menedzsment probléma specifikációjára. Az újdonság a módszerben az, hogy időszlet-alapú modellezési technikát használ, illetve több probléma-jellemző együttes kezelésére képes, mint pakolási idők, időablakok, erőforrásokkal és taszkok közötti relációkkal kapcsolatos korlátozások.

T3.2. Egy algoritmikus keretrendszert fejlesztettem ki, ami a MILP modell módosított változatán alapszik, és heurisztikusan ad egyenként taszkokat a meglévő ütemezéshez a végső megoldás eléréséig. A módszer a MILP modell önálló megoldásával ellentétben nem garantálja az optimális megoldást, és egyéb hiányosságai is vannak, azonban képes közel optimális, megvalósítható megoldást találni elfogadható időn belül, nagyobb méretű feladatokra is.

4. Az új tudományos eredmények hasznosítása

Az energiafogyasztás optimalizálására kifejlesztett P-Gráf alapú megoldó módszert általánosságban is alkalmazni lehet, hasonló problémák megoldására. Különböző energiaforrások vehetők számításba azokkal a módszerekkel, ahogyan a napenergia és a biomassza-alapú biogáztermelés is megjelent a modellben, különösen olyan esetekben, amikor több különböző bemenő anyagot néhány technológia között kell szétosztani. A többperiódusú modellezési séma használható olyan esetekben, amikor a teljes kereslet vagy a kínálat nagymértékben ingadozó, mint ahogy a fűtési igények és az elérhető napenergia a modellben.

Egy általános módszer lett kifejlesztve, amivel rugalmas bemenetű, tetszőleges lineáris korlátozásokkal ellátott műveletek modellezhetők a P-Gráf módszertan keretei között. Azon túl, hogy konkrétan a döntéstámogatást segítse, ez a munka azt a célt is szolgálta, hogy hasonló modellezési technológiák kifejlesztését segítse elő. A bemutatott módszer képes műveletek széles skáláját modellezni, amikor több különböző bemenetet tetszőleges arányban használhatunk fel. Ha a bemenetek és a kimenetek kapcsolata, valamint a bemenetekre vonatkozó megkötések lineáris korlátozásokkal leírhatók, akkor egy általános modellezési módszert alkalmazhatunk az esetre. Ez a módszer, a korábbi törekvésekkel ellentétben, a már meglévő megoldó módszerekkel, például az Accelerated Branch and Bound algoritmussal, valamint meglévő szoftverekkel, például a P-Graph Studio szoftverrel közvetlenül alkalmazható anélkül, hogy manuálisan manipulálnunk kellene a megoldás folyamatát vagy külső eszközökre lenne szükség.

A mobil munkaerő menedzsment céljára kifejlesztett új, általános kevert-egészes lineáris programozási modell egy olyan feladatspecifikációt képes megoldani, ami problémajellemzők széles skáláját magába foglalja. A modell közvetlenül is alkalmazható olyan esetekben, amiket ez a specifikáció lefed. A kifejlesztett keretalgoritmus még egy megoldási lehetőséget kínál a modell önálló megoldása helyett. Általa heurisztikus megoldásokat találhatunk elfogadható időn belül, sokkal nagyobb méretű problémákra is. A modell azzal a céllal lett tervezve, hogy algoritmikusan manipulálni lehessen a megoldási folyamatot, tehát, hogy a jövőben további megoldó módszereket lehessen fejleszteni a segítségével.

5. Publikációs lista

Kapcsolódó publikációk

- [S1] **A. Éles**, H. Cabezas és I. Heckl, „Heuristic Algorithm Utilizing Mixed-Integer Linear Programming to Schedule Mobile Workforce”, *Chemical Engineering Transactions*, 70. évf., 895–900. old., 2018.
- [S2] **A. Éles**, L. Halász, I. Heckl és H. Cabezas, „Energy Consumption Optimization of a Manufacturing Plant by the Application of the P-Graph Framework”, *Chemical Engineering Transactions*, 70. évf., 1783–1788. old., 2018.
- [S3] **A. Éles**, L. Halász, I. Heckl és H. Cabezas, „Evaluation of the Energy Supply Options of a Manufacturing Plant by the Application of the P-Graph Framework”, *Energies*, 12. évf., 8. sz., 2019, **IF: 2.707**.
- [S4] **A. Éles**, I. Heckl és H. Cabezas, „Modeling technique in the P-Graph framework for operating units with flexible input ratios”, *Central European Journal of Operations Research*, 29. évf., 2. sz., 463–489. old., 2020, **IF: 2.345**.
- [S5] **A. Éles**, I. Heckl és H. Cabezas, „New general mixed-integer linear programming model for mobile workforce management”, *Optimization and Engineering*, 23. évf., 479–525. old., 2022, **IF: 2.760**.
- [S6] **A. Éles**, I. Heckl és H. Cabezas, „Modeling Renewable Energy Systems in Rural Areas with Flexible Operating Units”, *Chemical Engineering Transactions*, 88. évf., 643–648. old., 2021.

Egyéb publikációk

- [E1] **A. Éles** és I. Heckl, „Application of the maximal bipartite matching algorithm to schedule medical appointments with quotas”, *Proceedings of the Pannonian Conference on Advances in Information Technology (PCIT'2019)*, I. Vassányi, szerk., ISBN 978-963-127-8, University of Pannonia, Veszprém, Hungary, 2019, 1–7. old.
- [E2] **A. Éles** és I. Heckl, „Solving an extended line balancing optimization problem using dynamic programming”, *Proceedings of the Pannonian Conference on Advances in Information Technology (PCIT'2020)*, I. Vassányi, szerk., ISBN 978-963-396-144-5, University of Pannonia, Veszprém, Hungary, 2020, 31–37. old.
- [E3] **A. Éles** és I. Heckl, „Dynamic programming approaches for line balancing problems”, *Short papers of VOCAL 2022 (9th VOCAL Optimization Conference: Advanced Algorithms)*, ISBN 978-615-01-5987-4, Hungarian Operations Research Society, Budapest, Hungary, 2022, 30–35. old.