

Módszerek hűtőrendszerek irányítására

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Schné Tamás

Témavezető:

Dr. Simon Gyula és Dr. Hegyháti Máté

Széchenyi István Egyetem
Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése
Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

2021

ELŐZMÉNYEK, CÉLKITŰZÉSEK

Hűtést, hűtőrendszereket az élet számos terén alkalmaz az emberiség a kis háztartásoktól kezdve egészen nagy ipari rendszerekig. A cél minden esetben közös: a felesleges hőt elvezetni egy tárgyról vagy berendezésről. A hő átadása gyakran hőcserélők felhasználásával történik, amikben a hűtést a hűtőközeg áramlása végzi.

Ipari hűtőrendszerek esetében gyakran alkalmaznak hőcserélő hálózatokat, amik a folyamatrendszerek közé tartoznak, ezért a velük kapcsolatos szabályozórendszer tervezési módszerek fejlődése szoros kapcsolatban áll a folyamatrendszerek fejlődésével. A kezdeti időkben döntő többségében a vegyiparban volt szükség a biztonságos, pontos és hatékony folyamatirányításra, majd ahogy fejlődtek a különböző ipari technológiák, úgy bővült az alkalmazási területük. Napjainkban már az autóipartól kezdve az orvosi alkalmazásokig számos területen van szükség folyamatirányításra. Bonyolultságtól függetlenül közös mindegyikben, hogy a szabályozórendszer tervezése a megfelelő szabályozási struktúra kiválasztásával kezdődik. Kisebb, egyszerűbb rendszerekben ritkán okoz problémát a bemenet-kimenet párok kiválasztása, azonban decentralizált szabályozási struktúra esetén az egyes szabályozók közötti kereszthatások kialakulása miatt már egy nagyobb kihívást jelentő feladatot kell megoldani.

A háztartási hűtőrendszerek problémakörének vizsgálatát leszűkítettem a háztartási hűtőgépekre, mert ezek a berendezések azok, amik a legtöbb háztartásban megtalálhatók, egy család éves elektromos energia fogyasztásának jelentős részét adják, jelentős hatással vannak a környezetre, valamint alkalmasak IoT-be történő integrálásra is.

A dolgozatban bemutatott kutatás egyik célja olyan új módszer kidolgozása volt, mellyel néhány ipari hűtőrendszer esetében a széles körben alkalmazott lineáris technikákhoz képest hatékonyabban lehet elemzést végezni és számukra szabályozási struktúrát tervezni.

A kutatás másik célja olyan technika kidolgozása volt, mivel háztartási hűtőgépek esetében gyorsan és egyszerűen lehet adaptív, azaz a rendszerben vagy környezetében bekövetkezett változásokhoz alkalmazkodó rendszermodellt alkotni. Fontos szempont volt, hogy a végeredmény olcsó hardver eszközökön implementálható legyen. További cél volt az új modellhez olyan új szabályozási algoritmusok kifejlesztése, amikkel hatékonyabb, gazdaságosabb és környezetkímélőbb üzemelés érhető el.

ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A dolgozatban bemutatott eredmények eléréséhez az alábbi módszereket alkalmaztam:

- hűtőrendszerek modellezése differenciálegyenletekkel
- a rendszermodellek elemei közti kapcsolatok leírása struktúra gráfokkal
- a struktúra gráfokból páros gráfok készítése és relatív fokszámok számítása
- mátrix transzformációk
- maximális súlyú párosítások keresése páros gráfokban (pl. *magyar módszer* alkalmazása)
- mérések végzése valós háztartási hűtőgépeken
- a mért adatokra rendszermodell illesztése regresszióval
- új szabályozó algoritmusok kifejlesztése, amihez fontosak a megfelelő programozás technikai háttérismeretek
- számítógépes szimulációk végrehajtása
- statisztikai elemzés

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az új tudományos eredmények az alábbi pontokban kerültek összefoglalásra. Az egyes tézisek, altézisek után zárójelben van megadva a dolgozat kapcsolódó fejezete, alfejezete, melyben az eredmények részletes bemutatása található.

1. Gráfelméleti módszereket javasoltam input-affin formában adott nemlineáris hőcserélő rendszerek elosztott szabályozási struktúráinak tervezésére. (3. fejezet)

1.1. Kidolgoztam egy relatív-fokszám alapú módszert hőcserélő rendszerek SISO szabályozókból álló elosztott szabályozási struktúráinak tervezésére. Kidolgoztam egy módszert a relatív fokszám mátrix értékeinek transzformálására, amikkel súlyozva a bemenetek és kimenetek kapcsolatát leíró páros gráfot, egy maximális súlyú párosítást kereső algoritmussal megoldható a szabályozási struktúra tervezési probléma. A bevezetett tervezési módszer figyelembe veszi az egyes szabályozók közti kölcsönhatásokat és minimalizálja azokat. A módszer finomítható az egynél nagyobb relatív fokszámmal rendelkező bemenet-kimenet párok zéró dinamikájának stabilitás vizsgálatával. (3.2. alfejezet)

1.2. Kísérleti módszerekkel összehasonlítottam az általam javasolt megoldásokat a szakterületen általánosan használt relatív erősítési mátrix (RGA) alapú módszerrel. Megállapítottam, hogy vannak olyan hőcserélő rendszerek, amik esetében a javasolt módszerrel olyan szabályozási struktúra állítható elő, ami alapján megtervezett szabályozók kevésbé engedik eltérni a szabályozott jellemzőt annak kívánt értékétől. (3.3. alfejezet)

Megjegyzés: Az 1.2 tézishoz kapcsolódóan meg kell jegyezni, hogy az abban leírt nagyobb hatékonyság egyik oka, hogy az RGA alkalmazásakor nemlineáris esetben az irányítandó rendszer egy

lokálisan linearizált változatát használják, ami az egyensúlyi ponttól távolodva az állapotterben a nemlinearitás mértékével arányosan egyre pontatlanabban közelíti az eredeti rendszert. A másik oka, hogy az általam javasolt módszer olyan keresztkapcsolatokat is figyelembe vesz a leendő szabályozók közt, amiket az RGA nem.

Az eredményekhez kapcsolódó publikáció: [S1]

2. Új modell-prediktív alapú módszereket dolgoztam ki háztartási hűtőgépek szabályozására, amelyek a szolgáltatói oldal számára támogatást nyújtanak a fogyasztói oldalt kezelő (demand side management - DSM) módszerekhez, a fogyasztói oldal számára pedig költségtakarékos megoldást biztosítanak. (4. fejezet)

2.1. Új adaptív rendszermodellt javasoltam, amely alacsony számítási kapacitás felhasználásával, automatikusan követni képes a rendszerben vagy környezetében bekövetkező, a rendszer állapotát befolyásoló változásokat. A javasolt rendszermodell szakaszonkénti lineáris közelítéssel írja le a rendszer átmeneti függvényeit a lehűlés és felmelegedés esetére. Módszert adtam a rendszermodell felépítésére és működés közbeni adaptív karbantartására. (4.2.4 és 4.2.5 alfejezetek)

2.2. Heurisztikus modell-prediktív szabályozó algoritmusokat javasoltam, amelyek egyrészt csökkentik a fogyasztó működési költségeit, másrészt képesek a terhelési egyenetlenségek csökkentésére. A javasolt algoritmusok paramétereinek hangolásával lehetőséget adtam a költséghatékonyság és a terhelésingadozás-csökkentés mértéke közötti egyensúly beállítására. (4.2.3. alfejezet)

2.3. Kísérleti úton igazoltam a javasolt algoritmusok költségcsökkentő, terhelés kiegyenlítő, valamint környezeti terhelést csökkentő tulajdonságait. Megmutattam, hogy a magyarországi

műszaki környezetben a javasolt algoritmusokkal mintegy 7-9%-os költségmegtakarítás, akár 75%-os terhelés kiegyenlítés, valamint háztartásonként évi 10kg CO₂ terheléscsökkentés is elérhető. (4.3. alfejezet)

2.4. Megvalósítottam a javasolt algoritmusok beágyazott környezetben, olcsó hardver eszközökön futtatható változatait. Kísérleti úton igazoltam, hogy a beágyazott szabályozó az elvárásoknak megfelelően működik. (4.4. alfejezet)

Az eredményekhez kapcsolódó publikáció: [S2, S3, S4, S5]

AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

Az analitikus szabályozási struktúra kiválasztási módszerekkel szemben a gráf alapú megoldások függetlenek a rendszer paramétereinek tényleges értékeitől, így alkalmasabbak a strukturális tulajdonságok vizsgálatára. Ezzel gyorsabban és egyszerűbben oldható meg a szabályozási struktúra kiválasztási probléma ipari hőcserélő rendszerek esetében. A gráf alapú megoldások további előnye, hogy nemlineáris rendszerek esetében is hatékonyan alkalmazhatók szemben több olyan technikával (pl. relatív erősítési mátrix), amiket alapvetően lineáris rendszerekre dolgoztak ki.

A háztartási hűtőgépek szabályozására kidolgozott algoritmusok az eddigi, intelligenciát nem használó hagyományos szabályozással szemben környezetkímélőbb és mind a felhasználói oldal, mind az energiaszektor szempontjából költséghatékonyabb üzemeltetést tesznek lehetővé. A szabályozóba épített adaptív hűtőgépmodell alkalmazása ezeket az előnyöket még jobban kiemeli, és kombinálva az olcsó hardver eszközökön való implementálhatósággal piaci érdeklődésre tarthat számot.

PUBLIKÁCIÓS LISTA

Kapcsolódó folyóiratcikkek

- [S1] T. Schné, K. M. Hangos, *Decentralised controller structure design and retrofit of process systems based on graph theory*, International Journal of Systems Science **42** (2011), 1023-1033. (SCI=2.185)
- [S2] T. Schné, Sz. Jaskó, Gy. Simon, *Embeddable adaptive model predictive refrigerator control for cost-efficient and sustainable operation*, Journal of Cleaner Production **190** (2018), 496-507. (SCI=5.651)

Kapcsolódó nemzetközi konferencia előadások

- [S3] Sz. Jaskó, T. Schné, Gy. Simon. *Model-based control for cost-aware household appliances*. In Proceedings of the 11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, SDEWES2016. Lisbon, Portugal, September 4-9, 2016.
- [S4] T. Schné, Sz. Jaskó, Gy. Simon. *Dynamic models of a home refrigerator*. In Proceedings of MACRo 2015 Conference. Targu Mures, Romania, March 6-7, 2015.
- [S5] T. Schné, Sz. Jaskó, Gy. Simon. *Dynamic modeling and identification of a domestic refrigerator*. In Proceedings of VOCAL /ASCONIKK 2014 Conference. Veszprém, Hungary, December 14-17, 2014.