

Ph.D. bíráló

Bálint Roland

„Energia menedzsment támogatása fogyasztói és naperőmű modell segítségével”

Tavaly felkértek Bálint Roland PhD dolgozatának a bírálataira a házivédés kapcsán. Számos kérdést feltettem és több megjegyzéssel éltem. A jelölt a bírálatokat is figyelembe véve átdolgozta a disszertációt. A hibákat javította, a korábban feltett kérdéseket megválaszolta.

A disszertáció fő témája, az energia menedzsment támogatása modellek segítségével, egy napjainkban igen fontos kutatási téma. Egyre több ember válik környezet tudatossá és ismeri fel a korlátos erőforrások, a légszennyezés és a globális felmelegedés hatását. Ezeknek az embereknek szükségük van olyan eszközökre és módszertanokra, amelyek segítik őket abban, hogy saját maguk is tegyenek egy kis lépést a fenntarthatóság érdekében, például azzal, hogy akkor terhelik a hűtőgépet, bojler, fagyasztót, amikor túlkínálat van áramból. A növekvő társadalmi nyomásra a politikusok is kezdik figyelembe venni a környezetre gyakorolt hatásokat, a gazdasági megfontolások mellett, így számukra is egyre fontosabbak a megújuló terjesztése. Ebben segít például az itt javasolt hőmérsékletfüggő napelem modell.

A disszertáció nyelve magyar. A dolgozat nyelvezete jó, a szerkezet megfelelő, az ábrák és táblázatok pedig kifejezőek. Az irodalomkutatás alapos, 80 elemű.

A dolgozat 5 fejezetből áll. Az első, a bevezetés, tartalmazza a munka motivációját és célját, valamint megadja a használt eszközöket és ismerteti a disszertáció szerkezetét. Bemutatásra kerül, hogy a környezetvédelmi szempontok mellett a gazdasági ösztönzők is fontosak. Több országban léteznek már napon belül változó energiaárak, amely érdekelté teszi a fogyasztókat abban, hogy bizonyos ütemezhető fogyasztást (például fagyasztó), akkorra időzítsenek, amikor a teljes hálózatnak kisebb a terhelése. A fejezet ismerteti az MPC – modell prediktív kontroll lényegét, amelynek az első tézis csoportban fontos szerepe lesz. Ugyanitt elkezdődik az irodalmi áttekintés, amely mennyiségben és minőségben is megfelelő. Tartalmaz gyakran hivatkozott régebbi forrásokat, de megtalálható több aktuális (tavalyi, idej) cikk is.

A második fejezet tartalmazza a dolgozat további részeinek elméleti megalapozását, egy bevezetést a rendszer- és irányításelméletéről. Definiálja az alapfogalmakat, jelek, rendszerek, bemenet, kimenet, modell. Ezután bemutatja a folytonos idejű, lineáris idő-

invariáns állapotter modellt. Több lépésen keresztül elmagyarázza, hogy miként lehet kifejezni az állapotfüggvényt és a kimenet függvényt a kezdeti állapot, a bemeneti függvény és a modell paraméterek segítségével. Mivel számítógépen, mikrokontrolleren futó vezérlés tervezése a cél ezért bevezeti a diszkrét idejű állapotter modellt, ahol a rendszer állapotát a mintavételezési idő egész számú többszöröseiben ismerjük. Definiálja a modellezést, mint eljárást, amely az ismert bemeneti és kimeneti jelek között teremti meg a kapcsolatot. Bemutatja a modellezés fő lépéseit: probléma definiálás, mechanizmusok megfigyelése, adatok gyűjtése, modellalkotás, modell megoldása, verifikálás, kalibrálás, validálás. Külön alfejezetet kapott a szakaszonként lineáris rendszermodell, mert a tervezett irányítás rendelkezik bekapcsolt és kikapcsolt állapottal. Részletezi a dolgozat a paraméterbecslés menetét és a modell prediktív irányítást.

A harmadik fejezet villamos berendezések ütemezésével foglalkozik dinamikai modellek segítségével. Sok országban az áram ára egy adott hónapban állandó. Ekkor nincs értelme azzal foglalkozni, hogy mikor kapcsoljon be a fagyasztó. Néhány országban már napon belül is változik az áram ára így nem mindegy, hogy mikor töltik például fel az elektromos autó akkumulátorát. Valószínűsíthető, hogy a jövőben egyre több ország fogja az utóbbi irányt követni. Ennek oka, hogy nagyon költséges annyi erőműi kapacitást fenntartani, ami képes az elméleti fogyasztási maximum kielégítésére. Magyarországon is létezik vezérelt áram, amikor a rendszerirányító határozza meg, hogy pontosan mikor kapcsolja be az adott készüléket. A megújuló fokozatos terjedése is növeli az energiakiigyeenlítési feladat nehézségét. A változó áramár egy ösztönző, hogy a fogyasztási csúcsok kevésbé legyenek magasak. Ehhez vezérelhető eszközök szükségesek, amelyek az áramár előzetes ismerete alapján meghatározzák a költség optimális ki-bekapcsolási ütemezést. Első körben egy hűtőgép modell készült el villamoshálózat analógiával. A cél, hogy a meghatározott üzemi korlátokat ne sértsék meg, például a belső hőmérséklet 0.1 és 5.5 C között legyen, ugyanakkor a költség a lehető legkisebb legyen. Matlab-ban készült egy modell prediktív kontroll, beépített MPT függvények segítségével. Ez a megközelítés nem járt sikerrel, mert 5 perces periódusidőt és 24 órás tervezési horizont mellett az optimalizálás nem futott le. Kiderült, hogy szükséges egy nagyságrendekkel gyorsabb algoritmus. A jelölt megtervezett és megvalósított egy ilyen algoritmust. Az algoritmus lényege, hogy a döntési fát szintenként vizsgálja a gyökérrel kezdve. Egy szinten először létrehozza az új problémákat (elágazás lépés), ezután heurisztikus szabályok segítségével összehasonlítja az azonos szinten lévő részproblémákat és eldobja azokat, amelyek nem vezethetnek optimumhoz. A kidolgozott esettanulmány megmutatja, hogy az algoritmus a felső hőmérséklet határ közelében tartja a hőmérsékletet csökkenő és állandó áramár mellett. Növekvő áramár esetén túlhűt a rendszer.

Az előző algoritmusból készítettek egy új változatot, amely már képes a hűtőszekrény hő kapacitás változását figyelembe venni. Ez gyakorlati szempontból fontos, mert más vezérlést igényel egy üres és egy telepakolt hűtőszekrény. Az alapalgoritmus is használható az üzemi korlátozások tekintetében, mert az üres hűtőgépre készült vezérlés nem lépi át a korlátokat telepakolt berendezés esetén sem. Ennek oka, hogy a megnövekedett hő kapacitás hatására lomhább lesz a rendszer, vagyis lassabban változnak a hőmérsékletek. A másik

oldalról viszont költség szempontjából nem lesz optimális a vezérlés. A hő-kapacitás mérése közvetlenül nem egyszerű, ezért azt a megoldást választották, hogy a mért és a becsült hőmérséklet különbsége alapján becslik meg a hő-kapacitás változást. A módosított algoritmus minden lépésben ellenőrzi, hogy van-e hőmérsékletkülönbség, ha van, akkor megbecsli a hő-kapacitást és utána az új értékkel futatja az alapalgoritmust. Az adaptív algoritmust tartalmazó modellt fagyasztóládára is megvalósították. Az esettanulmányok azt mutatták, hogy a hiszterézis alapú szabályozáshoz képest az MPC algoritmus körülbelül 5%-os költségcsökkenést eredményez, az adaptív verzió ezt még tovább tudja csökkenteni.

A negyedik fejezet napelem panel modellt alkot és mutat be. Elsőként a napsugárzáshoz tartozó fogalmakat, képleteket ismerteti. Például figyelembe veszi, hogy a Föld pályája ellipszis és nem kör, a keringési sík és a forgástengely közötti sík 23,5 fokkal eltér, a napok hossza függ a dátumtól. A dolgozat elmagyarázza a lokális, a nemzeti és a szoláris idő között különbségeket. A modellhez a szoláris időre van szükség. A besugárzott energia számolásához egy német modellt választottak ki. Ezt a modellt módosítani, kiegészíteni kellett, mert a napelemek általában nem vízszintes felületen helyezkednek el és figyelembe kell venni a diffúz sugárzás nagyságát is. Az így kapott szolár-geometriai modellt verifikálták Veszprémben mért adatok alapján két adott napra.

Általánosan ismert, hogy a napelem panelek hatásfoka csak adott paraméterek mellett érvényesek. A hőmérséklet növekedése rontja a hatásfokot. Ezért léteznek hűtött napelemek. A negyedik fejezet hőmérséklet függő napelem modell megalkotását is célul tűzte ki. Figyelembe veszik, hogy a panelre érkező napsugárzás egy része hőenergiává alakul. Emiatt számolni kell a panel hőkapacitását az összetevők hőkapacitásából. A dolgozat felhasznál öt különböző időjárás modellt. A modellek különböznek az előre jelzett időhorizontban és pontosságban. Emiatt a jelzett időjárási modellek főleg hőmérsékletre korrelálnak, szélnél már nagyobb eltérések vannak, felhőzet esetén pedig lényegesek a különbségek. Ráadásul az utóbbihoz nincsenek mért értékek, hanem egy függvénnyel lett számolva. A hőmérsékletfüggő modell verifikálásra és validálásra került. Az első esetben a felszíni besugárzott energia méréssel lett meghatározva, a másodikban teljes mértékben az előrejelzés alapján történt a számolás. Személy szerint nekem nagyon tetszett, ahogy a dolgozat megmutatja, hogy a mért adatokban sem lehet teljesen megbízni és feltevést is ad arra, hogy mi lehet a hibás adatok oka. Például rosszul kalibrált hőmérsékletmérő, árnyékoló fa vagy épület egy adott irányban.

Kiemelt kérdések és megjegyzések

1. Mennyire lehetne adaptálni a modelleket arra az esetre, amikor a környezeti hőmérséklet nem állandó? (éjszaka sokan 3-4 fokkal kisebb hőmérsékletet tartanak a lakásban)
2. Az MPC kapcsán 3 heurisztikus szabály használt. Mely szabályról tételezi fel, hogy bár gyorsít a megoldáson, de a globális optimum elvesztésével járhat?
3. Mennyivel drágább 3,5 fokon tartani a hőmérsékletet, mint 5,5 fokon?
4. Milyen esetben törekszik az algoritmus arra, hogy ne a felső, hanem az alsó határon tartsa a hőmérsékletet, hogy minél nagyobb legyen a tartalék?

5. A hűtő ajtó 1, 2, 3, 4 perces nyitva tartás mennyire változtatja meg a belső hőmérsékletet? Mennyi idő kell, hogy ezt a zavart korrigálja a vezérlés?

A tézisfüzetben szereplő tételeket a jelölt saját eredményeinek fogadom el. Az eredmények tudományos értékét, fontosságát és időszerűségét nagyra értékelem. Az értekezést nyilvános vitára bocsáthatónak tartom, a **jelölt fokozatszerzését** a bemutatott dolgozat alapján feltétlenül **támogatom**.

Veszprém, 2021. március 19.

Heckl István, Ph.D.
egyetemi docens