

Bírálat

Drenyovszki Rajmund

Valószínűségi eljárások alkalmazása a Smart Grid hálózatok hatékonyságának növelésére

című PhD értekezésére
Készítette: Horváth Gábor

Az értekezés a Smart Grid hálózatok különféle forgalmi modellezéssel, méretezéssel, megbízhatósági analízissel és fogyasztásengedélyezéssel kapcsolatos problémáira ad új megoldásokat. A témaválasztás időszerű, a Smart Grid hálózatok elterjedése szükségszerű, ezen a területen rengeteg a nyitott kutatási feladat. Megjegyzendő, hogy ezeknek a kutatási feladatoknak a számottevő része korábban más kontextusban (pl. a távközlő hálózatok területén) már felmerült, fejlett megoldások születtek, melyeket nem szabad figyelmen kívül hagyni. A disszertáció eredményeit így annak tükrében is szükséges vizsgálni, hogy valóban minőségileg új eredményekről, vagy más területen már alkalmazott megoldások adaptációjáról van-e szó.

A bevezető jellegű 1. fejezet után a 2. fejezet a készülékszintű fogyasztás jellemzésére szolgáló különféle sztochasztikus modelleket vezet be, és hasonlít össze. A megvizsgált modellek az IID, a Markov folyamatok, a szemi-Markov folyamatok, és a Markovi on-off folyamatok köre. A modellek a disszertációban megfelelően bemutatásra kerültek, bár a megfogalmazás több helyen lehetne precízebb. A bemutatás után egy valódi, mérésekből származó adatsorral kerül kiértékelésre a modellek alkalmassága a fogyasztás jellemzésére, ami tanulságos, hasznos munka. A szükséges állapotok számának analízise után az autokorrelációs függvények összehasonlítása következik. Ezt követően a modellek megfelelősége két további, mérnöki fontos jellemző, a túlfogyasztás valószínűségének és a terhelési tényezőnek a segítségével is kiértékelésre kerül. A leírás világos, a következtetések helyesek. A szimulációs eredményeket kellő számú kísérlet eredményének átlagolásával állítja elő, bár a konfidenciaintervallumot nem határozza meg.

A 3. fejezetben a túlfogyasztás és az alulfogyasztás becslésére alkalmas eljárásokat mutat be a disszertáció. A mérnöki alkalmazás szempontjából kulcsfontosságú, hogy az eredmények bizonyítottan pesszimista közelítések. A leírás itt is nagyon világos, elegendően sok magyarázatot tartalmaz. Az eredmények nagyon hasznosak. Fontos észrevétel, hogy „call admission control” néven ezeket a technikákat a távközlési hálózatok kontextusában már régóta használják. A jelölt 1. tézise ezért nagyon bölcsen a Smart Grid hálózatokban való felhasználásra helyezi a hangsúlyt, ami valóban képvisel tudományos értéket.

A valószínűségi egyenlőtlenségek bemutatása után a Chernoff egyenlőtlenség hatékony kiszámításához nélkülözhetetlen kovexitási tulajdonság is bizonyításra kerül. Megjegyzendő, hogy az azonos Bernoulli változók összegére vonatkozó esetre az eredmény közismert (pl. a Wikipédia is levezeti), azonban a dolgozatban említett különböző paraméterű eset nem az. A Chernoff korlát levezetése erre az esetre sem különösebben bonyolult, de a komplexitás bizonyítása valamivel fejlettebb matematikai eszközöket igényel. Az alulfogyasztásra vonatkozó Chernoff korlát levezetése (és maga az eredmény is) gyakorlatilag megegyezik a túlfogyasztásra vonatkozóval. A numerikus példában a Chernoff korlát alapján kiszámított maximális készülékszám elfogadhatóan szoros, és bizonyítottan pesszimista. A mukahelyi vitára benyújtott változathoz képest bekerült egy fontos táblázat, mely rámutat, hogy a Chernoff módszer több nagyságrenddel gyorsabb, mint a pontos módszerek.

A 4. fejezet ad értelmet a 2. és 3. fejezeteknek, itt kerül bemutatásra a Chernoff korlátra és a Markov lánc alapú fogyasztási modellre alapozott megbízhatósági analízis és méretező eljárás. A

két eljárás közel áll egymáshoz, a megbízhatósági analízis a túl- és alulfogyasztás valószínűségének kiszámítását jelenti, míg a méretezés egy olyan kapacitás megtalálását, mely megfelel a túl- és alulfogyasztási kritériumoknak. Első lépésben a korábban Bernoulli fogyasztók összegére levezetett Chernoff korlát kerül kiterjesztésre (viszonylag egyszerűen) úgy, hogy Markov folyamat szerint működő (és így autokorrelációval rendelkező) fogyasztókat is figyelembe tudjon venni. A Chernoff korlát a Markov lánc stacioner eloszlására is levezetésre kerül, bár nem világos ennek további szerepe.

Egy numerikus példa mutatja be a módszer pontosságát a túlfogyasztási valószínűségek és a méretezés tekintetében. Az eredmények meggyőzőek.

A fejezet elején található összefoglaló rámutat, hogy a terület szakirodalma eltérő célfüggvényekkel dolgozik, ami nem teszi lehetővé a bemutatott módszer numerikus összevetését más eljárásokkal.

Az 5. fejezet egy új fogyasztásengedélyező algoritmust mutat be, mely egyben a jelölt második tézise. Ez az algoritmus új igények felmerülésekor a Chernoff korlát segítségével becsüli meg, hogy a készülék beengedésével az előírtnál nagyobb valószínűséggel sérül-e a túl- és alulfogyasztásra vonatkozó kritérium. Az algoritmus rendkívül egyszerű: a kritériumot sértő készülékek beengedését halasztja, egy vagy több időlépéssel. Az eljárás hatékonyságának igazolására a dolgozat alapos vizsgálatokat tartalmaz. Szimuláció segítségével mind az eltolások számát, mind a fogyasztás eredeti és módosult eloszlásfüggvényét, a felső korlát alá eső fogyasztás mértékét vizsgálja különböző halasztási intervallumok mellett.

Az algoritmus egy pozitív tulajdonsága, hogy a tervezésénél az igazságosság is fontos szempont volt. Ennek számszerűsítésére vannak bevett módszerek (fairness index néven), jó lett volna ezeket is felhasználni a vizsgálatok során az 5.15. ábra grafikus demonstrációja mellett.

Szintén jó lett volna az eredményeket más, korábban publikált módszerekkel összevetni, bár tény, hogy ezt nagy mértékben nehezíti az eljárások célfüggvényeinek különbözősége és a benchmark problémák hiánya.

A 6. fejezetben, mely a 3. tézishoz kapcsolódik, a jelölt a beengedhető fogyasztók kiválasztását egy valószínűséggel korlátozott optimalizálási feladat segítségével fogalmazza meg, melyben a sztochasztikus összetevő a nem vezérelhető fogyasztók fogyasztásához tartozik. Ez a fejezet messze a legmélyebb matematikai apparátust használó része a disszertációnak. Az optimalizálási probléma megfelelően bevezetésre került, a kapcsolódó publikációk bemutatásával együtt. Ezután következik a fejezet lényegi része, az optimalizáló algoritmus részletes ismertetése, a master feladat és az oracle megoldásával. A fokozat odaítélése szempontjából a 6.6. fejezet, az oracle algoritmus a legfontosabb, hiszen a teljes eljárásból csak ez szerepel tézisként megfogalmazva. Az oracle algoritmus egy korlátozás nélküli konvex minimalizálási feladat megoldását jelenti, az erre szolgáló eljárások tulajdonságait a disszertáció alaposan körüljárja.

A teljes optimalizáló eljárás működése két sztenderd benchmark problémán, a kávékeverésen és a „CashMatching” problémán keresztül kerül bemutatásra.

Ezt követi a beengedhető fogyasztók problémájának formalizálása, lépésről lépésre. A célfüggvény konvexitásának bizonyítása is szerepel a disszertációban (ez a tulajdonság abban az esetben teljesül, ha az energia egységára a fogyasztás konvex függvénye), majd egy numerikus példa teszi kerekké ezt a fejezetet. A numerikus fejezetben használt modell egyszerű, de így is világossá válik, hogy számos mérnöki probléma leképezhető valószínűséggel korlátozott optimalizálási feladattá, így hatékony megoldásával valóban érdemes foglalkozni.

A dolgozat struktúrája alapvetően megfelelő, stílusa gördülékeny, magyarázatai jól követhetők. A munkahelyi vitára benyújtott változat bírálatában megfogalmazott formai, szerkesztési észrevételeket a jelölt figyelembe vette, látványosan javítva a disszertáció minőségén. Az ábrák és táblázatok nyelve és jelölései összhangba kerültek a szöveggel, könnyen értelmezhetők, és nagyban hozzájárulnak az eredmények bemutatásához. Az alapos szerkesztésnek köszönhetően elírást, jelölésbeli inkonzisztenciát alig találtam.

A tézisfüzet megfelelően foglalja össze a jelölt tudományos eredményeit. Jó döntésnek tartom az első három fejezet összefogását egyetlen tézisbe, véleményem szerint ez vált a jelölt legerősebb tézisévé. A tézis eredményeit két impakt faktoros folyóiratcikk, egy további folyóiratcikk, és két nemzetközi konferenciaticikk közli.

A fogyasztásengedélyezési algoritmusból született a második tézis, mely a Chernoff egyenlőtlenségek alapján, a villamos energia rendszerek sajátosságait figyelembe véve ad megoldást a vezérelhető fogyasztók engedélyezésére. Az algoritmus egyszerű (de közel sem triviális), a kitűzött célt eléri, és az igazságossági szempontokat is szem előtt tartja. A tézishez egy impakt faktoros folyóiratcikk, valamint egy magyar és egy nemzetközi konferenciatickk tartozik.

A harmadik tézis gerincét a valószínűségi maximalizálási feladat adja, itt az oracle algoritmus és a fogyasztásengedélyezési probléma megfelelő formalizálása a jelölt eredménye. Az optimalizálási feladathoz tartozó megoldó algoritmus nagy értéke, hogy széles körűen használható nem csak a smart grid-ek, hanem számos más mérnöki területen is. Két impakt faktoros folyóiratcikk született az eredményekből.

Valamennyi tézist a jelölt saját eredményének tekintem, matematikailag és műszakilag is magas szintű és értékes munkának tartom. A tézisek eredményei nívós nemzetközi publikációs fórumokon is megmérettettek, és megállták a helyüket. Mindezek alapján javaslom a jelölt számára a PhD fokozat odaítélését.

Kérdések:

- A kétállapotú modellek bevezetésénél említésre kerül, hogy többféle megközelítést is lehet követni, többek között az „on/off time” és az „on/off max”modellt. Milyen megfontolások vezettek oda, hogy a dolgozatban mindenhol az „on/off max” modell szerepel? A másik on/off modell használatával mennyire kapnánk eltérő eredményeket?
- Milyen műszaki problémához vezet az alulfogyasztás, mit jelent a „hálózat paramétereinek elromlása”?
- Milyen konkrét eljárással kerültek meghatározásra az optimális korláthoz vezető s^* értékek?

Budapest, 2021. június 16.



Horváth Gábor
egyetemi tanár

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék