Opponensi vélemény

Dr. Magyar Attila

"Komplex Nemlineáris Energetikai Rendszerek Optimalizáció Alapú Analízise és Működtetése"

című MTA doktori értekezéséről

Témaválasztás, bevezető megjegyzések

A dolgozat komplex nemlineáris energetikai rendszerek vizsgálatával és irányításával kapcsolatos feladatokra keres válaszokat mind modell alapú, mind pedig modell független megközelítésben. A disszertáció témaválasztása korszerűnek mondható, a téma érdekes, a problémakör fontosságát rengeteg alkalmazási terület is alátámasztja. Általánosan megállapítható, hogy a dolgozatban felvonultatott matematikai eszközök szintje és azok használata megfelel a kitűzött célkitűzéseknek, alkalmas a feladatok megoldására.

A címben is kitűzött tematika azonban nem teljesen érvényesül következetesen a dolgozatban: az alkalmazott modellezési és tervezési eszköztár alkalmazhatóságának illusztrálására valamiért a szerző egy teljesen más területről vett példát használ, ami a dolgozat érdemi részének egy jelentős hányadát teszi ki.

Formai észrevételek

Az angol nyelvű dolgozat 114 számozott oldal terjedelmű, beleértve az irodalomjegyzéket és egy mellékletet is. A be- és felvezetést és a nemzetközi irodalomban található előzményeket az 1.–2. fejezetek tartalmazzák. A pályázó saját eredményei a 3.-5. fejezetekben szerepelnek. A 6. fejezet tartalmazza az összefoglalást, amelyet egy függelék, egy terjedelmes irodalomjegyzék és a saját publikációk listája követ. Az értekezésben szereplő ábrák segítik a leírtak megértését, szerkesztésük általánosságban tetszetős. Összességében megállapítható, hogy az értekezés teljesíti az MTA doktora értekezésekkel szemben támasztott formai követelményeket.

Az egyes fejezetekhez tartozó tartalmi megjegyzések és kérdések

Általánosan megállapítható, hogy nem volt szerencsés a dolgozat nyelvéül az angolt választani. A helytelen megfogalmazások és elírások tömkelege nemcsak nehezen olvashatóvá, de helyenként zavarossá és érthetetlenné is teszi a leírtakat, ami nagyban rontja a munka értékét. Feltűnő volt a képleteknél a központozás hiánya és a pongyola megfogalmazások sokasága. Ezt súlyosbítja a tény, hogy a szerző nem olvasta át alaposan a munkát beadás előtt. Az

olvasás során mindvégig az volt az érzésem, hogy egy hevenyészett vázlattal van dolgom.

1. fejezet egy rövid motivációs hátteret ad és megfogalmazza kutatás céljait. Mivel itt sem egy átfogó képet, sem egy irodalmi áttekintést nem kapunk, nem igazán értem a fejezet szerepét.

2. fejezet adná meg a legfontosabb fogalmakat és jelöléseket.

A már említett elütések, hibás megfogalmazások, rossz hivatkozások rontják az összképet. A teljesség igénye nélkül sorolok fel ezekből egy néhányat amit csak az első tíz oldalon találtam. Bár a hibaarány a dolgozat többi részében sem jobb, a továbbiakban eltekintek ezek részletezésétől.

pp. 8 ...three conductors each carry... helyett ...three conductors each carrying...

pp. 9 ... compared to the symmetric. ... talán ... compared to the symmetric case. ...

pp. 9 ...is the Fortesque operator... szerintem ez egyszerűen egy komplex szám...

pp. 10 ...(2.7) for two different unbalance cases. Sohase fogjuk megtudni a mondat elejét, mivel a teljes paragrafus hiányzik...

pp. 10 ... The main focus in on the negative ... helyett The main focus is on the negative....

pp. 10 ...The formula (2.6) of CVUF is similar to (2.6).

pp. 10 ... The actual state of the art definition in use, VUF, is sensitive to... talán ... By using the actual state of the art definition, VUF is sensitive to

pp. 10 ...but the two units (k_v, and θ_v) are hard to merge together as a singular optimization cost.... ???

pp. 10 ... the system is nonlinear in the states, it is linear in its inputs. ... Míg a deriváltat megadó formulára, mint leképezésre ez igaz, a rendszerre már triviálisan nem (ellenkező esetben lineráris lenne a rendszer a bementről az állapotokra nézve)

pp. 16 ... cannot used in closed form... helyett ... cannot be used in closed form...

pp. 17 ...The prediction of the behavior of the system in time, the prediction of the operation is called the horizon (H).... ????

pp. 17 ... in order to fint the optimal ... helyett ... in order to find the optimal...

pp. 17 ...They commonality in this work, ... ????

pp. 17 ...due the actors unpredictability... ????

pp. 18 ... It needs to be concentrated on the parallelization of the search strategy, rather than on the evaluation of J, ... Mit is kellene ezen érteni?

pp. 18 ...(2.23) korlátozások nélküli (2.24) pedig egy korlatozásokkal megfogalmazott feladat. Mit is kell azon érteni, hogy: ... In the present thesis the optimization problems solved by APPS will be in the form (2.23), however, they can be easily be reformulated to be in the form (2.24).

pp. 18 ...Eléggé mókás a következő mondat is: ... Lets adopt an infinite sequence of iterations $\rho = 0, 1, 2, \ldots$, with the last iteration noted as $\rho - 1$ and initialization at 0... Szép ez a véges végtelen sorozat...

pp. 19 ... Further worth mention, ... helyett talán ... Further worth to mention, ...

pp. 19 ... respectfully. ... talán .... ,respectively. ....

pp. 19 ... An internal success, where... helyett talán ... An internal success is, where ...

pp. 19 ...defined to be:.... helyett .... is defined to be: ...

Nem teljesen világos, mit is jelent az, hogy ... A wide class of nonlinear autonomous systems with smooth nonlinearities can be embedded into QP-form... Jó lett volna ezt és a használt ekvivalencia fogalmat precízen definiálni, különösen a következő megállapítás fényében: ...QP models originate from embedding have some unusual dynamic properties because their trajectories range only a lower dimensional manifold of the QP state space. ...

Kérdés: Ami az APPS algoritmust illeti: egy ész nélküli keresés (blind search) nem feltétlenül lesz hatékonyabb attól, hogy párhuzamosan, több szálon végezzük. Ezt erősíti a 2.3.2 szakasz utolsó mondata is, ami így hangzik: ... With the following pattern followed the local minima of f shall eventually be reached in an undetermined number of steps. Már edzett olvasóként fel sem tűnik, hogy itt f az J. Egyrészt gondolom a szerző itt a megelőző algoritmusra és nem a következő üres sorra utalt, másrészt kérdésként merül fel, hogy akkor miért épp ezt az algoritmust választotta?

A fejezet utolsó mondatához egy megjegyzés: attól még, hogy az irányítási feladatokat BMI alakban fogalmazzuk meg, azokat a legritkább esetben oldjuk meg BMI-ként (pld. statikus output feedback), épp a konvexitás hiánya és az ebből következő problematikus numerikus tulajdonságok miatt.

Ezért az ... there exist practically applicable and effective algorithms for BMI solution... kitétel igényel némi magyarázatot.

3. fejezet modell alapú módszereket mutat be villamos energetikai rendszerek tervezéséhez. Egyrészt a modell prediktív (MPC) irányításelmélet megközelítését használva kívánja megadni folyamatosan működő elektromos háztartási készülékek költségoptimális ütemezését egy másnapi piaci környezetben. A fejezet második részében a szerző lítium-ion akkumulátorok hőmérsékletfüggő paramétereit becsüli meg predikciós-hiba minimalizáláson alapuló paraméterbecslési módszerrel. A különböző hőmérsékleteken meghatározott paraméterek pontbecsléseit ezután a becsült paraméterekre illesztett hőmérsékleti karakterisztikák illesztéséhez használja fel.

Mindkét feladat érdekes, bár a modell alapú megközelítésen kívül nem sok minden kapcsolja őket össze. Mivel csak szimulációs adatok álltak rendelkezésre, a becslési feladat egy fikció, nem túl sok gyakorlati relevanciával. Különös tekintettel a választott példára, amihez nem állnak rendelkezésre publikus validált modellek.

Kérdés: Miért épp a hűtőszekrényekre esett a választás? Mekkora megtakarítás várható globálisan, feltéve, hogy a javasolt módszert alkalmazzák elég nagy számban? Mennyire függ ez a külső tényezőktől (például piaci szabályozás, árképzés, stb.) illetve a belső tényezőktől (modell paramétereinek ismerete)? Nincs részletezve, de gondolom a külső szabályzókat (ársávok) valamilyen kommunikációval kapja a szabályzó. Felmerült-e az algoritmus illesztése egy magasabb szintű (hálózatot érintő) szabályozási rendszerhez?

4. fejezet A hálózatba történő optimális áram betáplálás esetén a feszültség kiegyensúlyozatlansága az áramminőség egyik fontos mutatója. Mivel nem ismert a hálózat modellje, ez a fejezet egy nem modell alapú optimalizációs megközelítést javasol, aminek célja az, hogy megtalálja a hálózatba történő áram visszatáplálás optimális módját, amely mellett a teljes harmonikus torzítás csökken. A szerző a háromfázisú hálózat esetén erre a problémára fogalmaz meg és ad megoldást, ahol az optimalitási kritérium a feszültség kiegyensúlyozatlanságának mértéke.

(4.2) itt alul van specifikálva. Ennek megoldása egyértelműen $v_{net}^i = 0$. Nincs felsorolva, hogy mik a a korlátozó feltételek, mire nézve optimalizálunk, egyáltalán, mi a feladat formalizált megfogalmazása.

Divat-elem a modell függetlenség (model-free) hangsúlyozása, ami termé-

szetesen egy teljes megtévesztés. Attól még, hogy nincs megfogalmazva egy explicit, szokványos parametrizálással adott, formalizált modell, pld. differenciálegyenletek, a rendszer viselkedését (válaszát) valamivel becsülnöm kell – lásd szimulátor, amit a szimulációban felhasználunk. Tehát szó sincs modell-függetlenségről: csak a rendszerről való a priori ismeretek a szokványostól eltérő formában materializálódnak. Modell függetlenségről akkor beszélhetnénk, ha a funkcionál kiértékeléseket a valós rendszeren történő méréssel kellene megoldani, amiről természetesen egy valódi rendszer esetén szó sem lehet.

Kérdés: Hogyan választotta meg az algoritmusban szereplő paramétereket? Mennyi ideig futott az algoritmus? A vázolt algoritmusok praktikusan végtelen ciklusok: mi volt a leállási kritérium? Miből gondolja, hogy a kapott eredmény optimális, illetve hogyan lehet becsülni a tényleges performanciát (pld. a robusztusság viszonylatában)?

5. fejezet fedi le az általános sima nemlineáris rendszerek kvázipolinomiális és Lotka-Volterra reprezentáción és optimalizálási módszereken alapuló analízisét és irányítását.

A szerző analízisre az úgynevezett kvázi-polinomiális (QP) rendszerosztályt használja, aminek egy nagyon előnyös tulajdonsága, hogy a Ljapunov függvény alakja ismert. Ez jelentősen megkönnyíti a globális stabilitás vizsgálatot. Felhasználva azt a tényt, hogy megfelelő visszacsatolás mellett a zárt rendszer továbbra is a QP rendszerek osztályába tartozik, a QP rendszerosztályt állapot-visszacsatolás alapú szabályozótervezésre alkalmazza.

A tervezési eljárásra a szerző a kapcsolódó BMI-k iteratív megoldását javasolja.

A bemutatott illusztrációs példa, bár érdekes és releváns, eléggé távol esik a dolgozat címében megjelölt témakörtől, ami a dolgozat egészét tekintve talán nem szerencsés.

Kérdés: Van-e valami módszer, javaslat, a használt iteratív algoritmus paramétereinek megválasztására?

6. fejezet egy összefoglalást ad és egyúttal egy felsorolást is az egyes témákhoz tartozó lehetséges jövőbeni kutatási tervekről.

A tézisek felsorolása

1. téziscsoport a szerző két modell alapú módszert dolgozott ki energetikai rendszerek optimális működtetésére illetve paraméterbecslésére.

(a) Folyamatosan működő elektromos háztartási készülékek egy osztályának költségoptimális ütemezése modell prediktív optimális ütemezési problémaként került megfogalmazásra, ahol az ütemezési változó határozza meg a rendszer bináris üzemmódját, a költségfüggvény pedig a készülék üzemeltetési költsége az óránként változó áramár ismeretében. A szerző a probléma megoldására egy elágazás és korlátozás (branch and bound) alapú heurisztikus optimalizáló algoritmust javasolt. A módszer kiterjesztése a mögöttes egyszerű dinamika kulcsfontosságú paramétereinek változását követve adaptív működésre is képes.

(b) Egy predikciós hiba minimalizálásán alapuló paraméterbecslési módszert javasolt, amely képes lítiumion-akkumulátorok kulcsfontosságú, hőmérsékletfüggő paramétereinek megbecslésére: a módszer alapja egy nemlineáris töltési és kisütési modell, amely figyelembe veszi a hőmérsékletfüggést. A módszer a pontbecslések közötti interpolálással kapja meg az akkumulátor paramétereinek hőmérséklet karakterisztikáit.

A tézishez 7 publikáció (4 konferencia, 3 folyóirat) tartozik.

2. téziscsoport villamos hálózatokban alkalmazható, közvetlen optimalizáláson alapuló nem modell alapú kompenzációs módszereket javasol.

(a) Ismeretlen hálózati modellel vagy topológiával rendelkező egyfázisú kisfeszültségű elektromos hálózatok teljes harmonikus torzítását csökkentésére alkalmas, direkt optimalizáláson alapuló kompenzátor struktúrát javasolt, ahol az optimalizálási probléma költségfüggvénye a csatlakozási ponton mért feszültség felharmonikusainak függvénye. A javasolt kompenzátor struktúra a harmonikus torzítást nem szinuszos áram időfüggvény hálózatba táplálásával csökkenti, ahol a betáplált áram felharmonikusok amplitúdói és fázisai szolgálnak optimalizálási változóként az alkalmazott optimalizálási módszerhez.

(b) Megmutatta, hogy az ideális háromfázisú és a csatlakozási ponton mért háromfázisú feszültségfazor szimmetrikus különbsége egy közvetlen optimalizáláson alapuló feszültségaszimmetria kompenzációs struktúra költ-

ségfüggvényeként szolgálhat. A feszültség aszimmetria kompenzációjának problémája ismeretlen hálózati modell esetén optimalizálási problémaként került megfogalmazásra. A módszer teljesítményét koncepcionális hálózat és inverter modell segítségével szimulációs kísérletek alapján vizsgálta meg és arra a következtetésre jutott, hogy a javasolt kompenzációs módszer költségfüggvényeként a szimmetrikus különbség alapú norma nagyobb mértékű aszimmetria csökkenést eredményez, mint az általánosan használt feszültség aszimmetria indikátor.

3. téziscsoport kvázipolinom és Lotka-Volterra formában reprezentált sima nemlineáris rendszerek analízisére és stabilizáló visszacsatoláson alapuló szabályozására új, optimalizálás alapú, módszert javasol.

(a) A kvázipolinomiális reprezentációban lévő sima nemlineáris dinamikus rendszerek globális stabilitásvizsgálatát egy lineáris mátrixegyenlőtlenség megoldhatósági problémájaként fogalmazta meg.

(b) Kvázipolinomiális alakban levő sima nemlineáris rendszerek globálisan stabilizáló állapotvisszacsatolás tervezési problémát fogalmazta meg. A szabályozó egy nemlineáris állapot-visszacsatolás, mellyel a zárt rendszer kvázipolinomiális alakban marad. A problémát egy bilineáris mátrixegyenlőtlenség megoldhatósági problémájaként írta fel, míg a megoldásra egy iteratív lineáris mátrixegyenlőtlenség alapú megoldási módszert javasolt.

A tézishez 5 publikáció (2 konferencia, 3 folyóirat) tartozik.

Az értekezésben szereplő saját eredményekhez kapcsolódóan a szerző minden egyes tézisben megfogalmazott eredményét legalább egy különálló impakt faktoros folyóiratcikkben publikálta.

Összefoglaló vélemény

Megállapítható, hogy a pályázó új tudományos eredményeket ért el a PhD fokozat megszerzése óta. A kritikai észrevételek ellenére a téziseket a pályázó önálló, új tudományos eredményeiként elfogadom. A doktori munka eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez és javaslom a nyilvános vita kitűzését.

Szabó Zoltán

Budapest,
2023, Március 7

Dr. Szabó Zoltán
MTA Doktora,
egyetemi tanár