

Bírálat
SZABÓ ZOLTÁN

A geometric approach for the control of switched and LPV systems

MTA Doktori értekezéséről

Az állapottér-módszerek bevezetésével a modern szabályozáselmélet alapjait a svájci mérnök/matematikus, R.E. Kalman fektette le egy 1960-ban megjelent munkájában. Ennek hatására a mátrixok fokozatosan átvették a transzformációk (pl. Laplace- és Z-transzformáltak) szerepét, napjainkra a modern szabályozáselmélet meghatározó matematikai eszközévé váltak.

Szabó Zoltán egyik fő célja a mátrix-algebrai módszerek kiterjesztése lehetőleg minél általánosabb szabályozási egyenletekre, például mátrixok rangjára vonatkozó ismeretek, illetve mátrix egyenlőtlenségek segítségével. Ugyanakkor a szerző által alkalmazott eszközök között számos más módszer is szerepel, amelyek közül a legjelentősebbnek a differenciál-tartalmazások, valamint a robusztus invariáns halmazok használatát tartom.

Minden tudományterületnek van önfejlődése. Ez azt jelenti, hogy pusztán az elméleti kutatások is generálnak újabb és újabb kérdéseket, amelyekre elméleti válaszok születnek. Szabó Zoltán érdeme, hogy az elméleti kérdések megválaszolásánál tekintettel van a gyakorlat által felvetett igényekre is. Nevezetesen a kidolgozott módszerek közvetlenül vagy legalább áttételesen kapcsolatban vannak repülésdinamikai rendszerek vizsgálatával, nagyon nagy sebességű testek (pl. torpedók) stabilitásának biztosításával, továbbá a Paksi Atomerőmű priméerköri nyomásszabályozójának tervezésével. Ez utóbbi esetben a tervezett rendszer a gyakorlatban is megvalósult, ma is működik.

A 138 oldalas értekezés angol nyelven íródott, 12 fejezetből és függelékből áll.

A bevezető történeti megjegyzéseket, gyakorlati problémák rövid leírását, valamint az értekezés alapjául szolgáló publikációkra történő utalásokat tartalmaz. A nagy számú saját publikációból hét jelent meg színvonalas nemzetközi folyóiratban.

A második fejezet célja bemutatni a szerző motivációit. Kiemeli a lineáris időfüggő (LTV) rendszerek irányíthatóságára vonatkozó Kalman, illetve Silverman és Meadows-féle eredményeket. Idézi Szigeti irányíthatósági tesztjét, amely lineáris affin rendszerekre vonatkozik.

A 3. és 4. fejezet az úgynevezett kapcsolt rendszerek vizsgálatával foglalkozik. A szerző a teljes rangú elérhetőség, véges kapcsolási szám és a nem-negatív szabályozó bemenetek

esetét vizsgálja. Lineáris idővariáns rendszerek irányíthatóságára korábbi szerzők adtak feltételeket, azonban ezek átvitele kapcsolt rendszerekre nem evidens. A szerző érdeme, hogy az elméleti eredményeit alkalmazta egy szuperkavitációs elven működő torpedó irányítási problémáinak megoldásában is.

Megjegyzem, hogy a Caratheodory-féle megoldás definíciója a következőképpen módosítandó:

A function $x(t)$ is called a solution in Caratheodory sense of the differential equation (3.1)

with initial condition $x(t_0) = x_0, (t_0, x_0) \in I \times R^n$, if $x: I \rightarrow R^n$

is absolutely continuous and satisfies the differential equation a.e. in I . This definition implies the continuity of the function x at any interior point of I .

A stabilizálhatóság kérdéseit az 5. fejezet vizsgálja. Az előző fejezetek alapján az irányított kapcsolt rendszer irányíthatósága egyenértékű egy alkalmasan megválasztott differenciál-tartalmazás irányíthatóságával. Ezt figyelembe véve, a vizsgálatok a differenciál-tartalmazás „aszimptotikusan gyenge” stabilitási fogalmára támaszkodnak.

Sajnos a szerző által adott a gyenge stabilitás definíció nem pontos. A pontos definíció (lásd Georgi V.Smirnov, Introduction to the theory of differential inclusions, Amer. Math. Soc., Providence, RI, 2002 [(Smi02)] jelű hivatkozás az értekezésben) a következő : The zero solution of differential inclusion $\dot{x} \in A_c(x)$ is called weakly stable if, given any $\varepsilon > 0$, there exists $\delta > 0$ such that for $\|x_0\| < \delta$ at least one solution with $x(0) = x_0$ satisfies $\|x(t)\| < \varepsilon$, for all $t \geq 0$. The equilibrium is said to be weakly asymptotically stable if, in addition to being weakly stable, $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = 0$.

A definíció pontatlanságától függetlenül az 5. fejezetben adott eredmények korrektnek tűnnek. Az 5. fejezet legértékesebb eredménye a Proposition 9, amely az irányítható és bizonytalanságot is tartalmazó diszkrét idejű kapcsoltrendszerre vonatkozik. A differenciaegyenletekre vonatkozó Proposition 9 állítás a paraméterek értékeinek alkalmas megválasztása esetén jól alkalmazható bizonyos folytonos idejű differenciálegyenletekkel leírható szabályozási problémák megoldására is.

A szabályozáselméletben használt geometria módszerek lényege, hogy az állapotteret alkalmas alterekre bontják fel, és ezzel egyszerűsítik a feladat megoldását. Lineáris idővariáns rendszerek esetén a módszer igen hatékony, és az invariáns alterek megválasztása többé-kevésbé kézenfekvő. Nem idővariáns vagy változó paraméterű rendszerek esetén a módszer alkalmazása nem nyilvánvaló. A szerző a felmerülő, nem csak technikai jellegű problémákat

áthidalva a 6. és 7. fejezetben kiterjeszti ezt a módszert a nem idővariáns modellegyenleteire is. Az általa javasolt formalizmusra alapozva invariáns altér algoritmusokat fejleszt ki affin paraméter változású állapotmátrixok esetére.

Az értekezés 8. Fejezetében a szerző felbontási algoritmust adott a bimodális rendszerek egy alosztályára. Ez a felbontás lehetőséget adott arra, hogy az eredeti rendszer helyett elegendő csak egy alrendszert vizsgálni.

Az értekezés 9. Fejezete affin paraméterezésű kvázi lineáris változó paraméterű rendszereket vizsgál. A fő eredmény a rendszer dinamikus inverzének megadása. Fontos következmény, hogy az eljárás segítségével becsülni lehet az ismeretlen bemenetet .

Az inverziós eljárás és annak elméleti következményei a Paksi Atomerőműben primérfőirányító nyomásszabályozó, valamint repülőgépek esetén hibadetektáló szűrő tervezése során hasznosultak.

A 11. Fejezet tézisszerűen összefoglalja a fő eredményeket, míg a 12. Fejezetben a szerző a végkövetkeztetéseit fogalmazza meg.

Az értekezéshez tartozó, négy fejezetből álló Appendixet hasznosnak tartom. A fejezetek lineáris időtől függő rendszerek, vektormezőkre, lineáris időinvariáns rendszerek geometriájára, valamint disztribúciókra vonatkozó alapvető ismereteket foglalnak össze.

Az irodalomjegyzék bőséges irodalomforrást tartalmaz, a hivatkozások érdemiek.

A szabályozáselmélet interdiszciplináris tudományág, kialakulását és fejlődését egyaránt áthatja a mérnöki és matematikusi gondolkodás. Tisztában vagyok azzal, hogy nagyon nehéz olyan írásmű elkészítése, amely a matematikusok és a mérnökök elvárásainak egyaránt maradéktalanul megfelel. A szerző figyelemre méltó új tudományos eredményeket ért el, és ezeket mérnöki feladatok megoldásában is kamatoztatta. Az elméleti vizsgálataihoz a matematikai részterületek legkülönbözőbb módszereit használta fel alkotó módon. Érthető, hogy az oldalszám korlátok betartása mellett a rengeteg, egymáshoz nem túl közel álló matematikai módszerek teljes mélységű bemutatására nem volt mód. Lehet, hogy jobb lett volna, ha a szerző csak bizonyos általa kiválasztott részterület precízebb – értsd az alapfogalmakat és bizonyításokat részletező – leírására szorítkozik. Ezzel egyúttal lehetőség nyílt volna a mérnöki alkalmazások, azok kidolgozása során felmerülő technikai nehézségek részletes bemutatására is.

A gyakorlati alkalmazásokról, főleg a matematikai leírásaikról matematikusként is szívesen olvastam volna. Az utóbbi megjegyzésem nem az elvégzett munka súlyára és az elért eredmények értékének csökkentésére, hanem annak a prezentációjára vonatkozik.

Összefoglalva: az értekezés nyilvános vitára bocsátását és elfogadását javasolom.

Kérdések a szerzőhöz:

1. Általában az elméleti eredmények, eljárások a valóságban csak numerikus közelítéseken, illetve számítógépes programok futtatásával realizálódnak. Ennek következtében az iterációk során numerikus és számábrázolási hibák lépnek fel.
 - Mennyire robusztusak az elméleti módszerek az implementációk során fellépő hibákra nézve?
 - Vannak-e a szerzőnek ilyen jellegű szisztematikus vizsgálatai?
2. Tekintsük az $\dot{x}(t) = Ax(t) + u(t)$, $t \geq 0$, egyenlettel leírt irányított dinamikai rendszert, ahol $A \in R^{n \times n}$ a dinamikai rendszerre jellemző állandó mátrix és $u(t)$ a megválasztandó kontrollfüggvény.

Feladat: Határozzuk meg az $u(t)$ kontrollfüggvényt úgy, hogy az $x(0) = x_0 \in R^n$ kezdeti pontból induló megoldás véges idő alatt az $y \in R^n$ pontba jusson, és utána ott is maradjon.

 - Megoldható-e a feladat valamelyik, az értekezésben adott módszerrel, és ha igen, milyen típusú kontrollfüggvényt kell választani?

Veszprém, 2011. február 6.

Prof. Dr. Győri István
Matematikai tudomány doktora