

Dr. Szabó Zoltán professzor, az MTA doktora

opponensi véleményére adott válaszaim

Köszönöm Szabó Zoltán professzor úrnak, hogy véleményezte a doktori értekezésem. A feltett három kérdésre egyenként az alábbiakban válaszolok.

1. A vizsgálatok célja az volt, hogy bemutassa a robusztus irányítás tervezésében megjelenő lehetséges problémákat egy speciális hasnyálmirigy esetre, ötvözve a robusztus tervezési technikát az orvosi gyakorlatból szerzett empirikus szakértelemmel. Klinikai szempontból egyértelmű előny, hogy miután egy robusztus irányítást megterveztek, nem kell a szabályozót a különböző betegekhez vagy kezelési forgatókönyvekhez igazítani. A kapcsolt esetre hogyan vizsgálta a robusztus stabilitást, illetve performanciát?

Első körben a vizsgálat a tervezés során használt matematikai modell alapján történt, a robusztus szabályozó tervezési folyamatában. Második körben a vizsgálat a valódi glukózinzulin modellel szimulációs környezetben történt, ahol a szakirodalomban használt „gold-standard” CVGA ábrával értékeltük ki a szabályozó robusztusságát. A szimuláció során száz különböző esetet használtam, ezzel tesztelve a szabályozók robusztusságát. Az eredményül kapott CVGA ábrából a minimális és maximális vércukorszint értékeket olvashatjuk ki különböző esetekre. Ezekből az eredményekről következtethetünk a robusztus stabilitásra és robusztus performanciára.

A stabilitás abból látszik, hogy a vércukorszint minden egyednél egy jól behatárolható sávon belül maradt. A performanciát a vércukorszint minimum és maximum értékeiből, vagyis a kilengések mértékéből és a tartományból tudjuk becsülni. A CVGA ábrák kiértékelésénél a performanciát öt zónába osztják. Az A zóna a legjobb, itt a legkisebb a kilengés és a vércukorszint élettanilag megfelelő tartományon belül mozog. Az E zóna a legrosszabb, itt a legnagyobb a kilengés. Az ábrákból tehát minden egyes esetre képet kapunk a performanciáról. A zónák célja, hogy több esetre is tudjunk egy egységes következtetést levonni, vagyis ez gyakorlatilag a robusztus performanciára vonatkozó következtetés. Tehát, például, hogy ha egy szabályozónál minden egyed az A zónában van, akkor ott a legjobb robusztus performanciát értük el (ez ugyanakkor egyéni szabályozók célja, jelen kutatás célja és feladata az általános biztonsági garanciák biztosítása volt, amelyen belül aztán az egyéni szabályozók nagyobb hatékonyságot tudnak elérni).

2. Kérdés: (3.10)-ben miért éppen a 4-es kitevőre esett a választás?

A kitevőben szereplő szám azt adja meg, hogy a hibadinamikában legfeljebb hanyadrendű deriváltak jelennek meg. Ha ez a szám n , akkor legfeljebb n -szer kell a differenciáló operátort alkalmazni a hibaintegrálra, vagyis a hibának legfeljebb az $n - 1$ -edik deriváltja jelenik meg. A formulában a zárójelben lévő differenciáló és konstanssal való szorzás operátor összegének n -edik hatványra emelésével egy olyan operátort kapunk, ami egy konstanssal való szorzás és n -edrendig történő deriválások súlyozott összege, vagyis a hibadinamikában megjelenik a hibaintegrál és a hiba deriváltjainak a súlyozott összege egészen $n - 1$ -edik rendig.

Az egyenlet felírásakor abból a példából indultam ki, hogy a rendszer harmadfokú. A PID irányítási törvénynél a PID szabályozó miatt szükség van egy hibával arányos tagra (P), egy hibaintegrállal arányos tagra (I), egy hibaderiválttal arányos tagra (D). Tehát, eddig a hibadinamika számításánál szükség van egy integrálás, egy konstanssal való szorzás, és egy differenciáló operátorra, amit akkor kapunk, ha a kitevőben szereplő szám kettes. Mivel a példában pályakövető szabályozás szerepel, ezért szükség van a hiba deriváltjaira egészen a rendszer rendjéig, ami három, vagyis a kitevőben négyes számnak kell szerepelnie.

3. Kérdés: A fejezet folytonos idejű modellekre tartalmaz eredményeket. Az implementáció során mennyire befolyásolja az eredményeket a diszkrétizáció, pld. a mintavételi idő és az alkalmazott kvadratúra formulák?

Az RFPT implementációja során kiemelt hangsúlyt kell fektetni a bíráló által említett numerikus aspektusokra. Az RFPT esetében a deformáló függvény iterációit közvetlenül befolyásolja a mérhető jel mintavételezési ideje. CGMS szenzorok esetében ez praktikusán öt perces időlépést jelent (vagyis máris diszkrét idejű rendszert kell a valóságban tekintenünk). Ez kifejezetten hosszú időintervallumnak számít, ugyanakkor az RFPT módszer képes ebben az esetben is megbízható eredményeket szolgáltatni.

Egyéb rendszerek esetében előfordulhat, hogy a szabályozó a mintavételezési idő hatására nem várt módon működik. Ebben az esetben a szabályozó kiegészíthető például csúszó mód megfigyelővel, ami képes megbecsülni két mérés között az állapotok változását, így pontosabb működést eredményezve. Egy másik problémát jelenthet a gyakorlatban a magasabb rendű deriváltak előállításának a mérhető jellemzőiből. A véges differenciák alkalmazása gyakran vezet numerikusan instabil eredményekhez. Ez kiküszöbölhető úgynevezett csúszómód deriválók (sliding mode differentiator) használatával, amik képesek dinamikusan előállítani egy tetszőleges jel magasabb szintű deriváltjait.

Budapest, 2023. október 30.



Dr. Kovács Levente