

VÁLASZ SZTRIK JÁNOS PROFESSZOR ÚR BÍRÁLATÁRA

Szeretném megköszönni Sztrik professzor úrnak a dolgozatom alapos áttanulmányozására fordított időt és energiát, valamint a számos kritikai megjegyzést és kérdést tartalmazó bírálatát.

Örömmre szolgál, hogy a disszertáció témáját fontosnak tartja, és hogy felépítés, olvashatóság és formai szempontok alapján pozitív jelzőkkel illette a dolgozatot. Szeretném megköszönni a tézisek elfogadását, és rendkívül hálás vagyok a cím odaítélésére vonatkozó támogatásának.

A bírálatban két megjegyzést és öt kérdést kaptam. Válaszaimban a bírálatból származó idézeteket vastag betűtípussal jelzem.

1. megjegyzés: A bevezetésben a különböző eljárások között érdemes lett volna néhány szót szólni a közelítő megoldásokról is.

Akár a soranalízis, akár a sorbanállási hálózat analízis eljárásokra gondol a bíráló, a megjegyzéssel egyetértek.

A soranalízissel kapcsolatban valóban nem említettem meg egyetlen közelítő eljárást sem, pedig én magam is publikáltam ilyet 2005-ben, prioritásos sorok vizsgálatára. Való igaz, hogy a közelítő eljárásoknak van létjogosultsága abban az esetben is, ha a pontos számítási eljárás is ismert. Akármilyen gyors is a dolgozat 7. fejezetében leírt, prioritásos sorokat megoldó algoritmus, az imént említett közelítő eljárás még ennél is nagyságrendekkel hamarabb végez a számításokkal – igaz, az eredmények nem pontosak. Szerencsés lett volna betenni ezt az okfejtést a bevezetőbe.

A sorbanállási hálózatokkal kapcsolatban fontosnak tartom megemlíteni, hogy az irodalomban olyan általános eljárásról, mint amilyen a disszertációban leírt módszer, nincs tudomásom, így nincs összehasonlítási alap. A bevezetőben törekedtem a leginkább releváns megközelítések összegyűjtésére és rendszerbe szedésére. Igaz, legtöbbször csak 1-2 mondatot jutott egy-egy eljárás bemutatására, de ennél bővebb ismertetésre a terjedelmi korlátok miatt nem volt tér. Vizsgálom a lehetőségét, hogy a jövőben a disszertációt monográfiává bővítsen, melyben a bővebb, jobban részletekbe menő leírásra is lesz mód.

2. megjegyzés: Hiányolom a volt szovjet köztársaságokhoz tartozó kutatók ez irányú munkáinak a hivatkozását, nemzetközileg is elismert és nagyon aktív tudósok pl. Bocharov, Dudin, Klimenok, Nazarov, Vishnevsky, Naumov, hogy csak néhányat említsek.

Az említett kutatók kétségtelenül sokat tettek hozzá a téma terület fejlődéséhez, munkájukat én is elismerem, Dudinnal személyes kapcsolatom is van, konferenciák alkalmával sokszor találkozunk és beszélünk (az ő egyik cikke hivatkozásra is került a disszertációban). Eredményeiket nem tudatosan mellőztem, egyszerűen csak nem annak az iskolának az eredményeire

építettem. Ettől függetlenül valóban célszerű lett volna áttekinteni a tevékenységüket, és a releváns munkákat megemlíteni a disszertációban. Úgy gondolom, hogy ha még lenne rá lehetőségem, Bocharov és Naumov néhány cikkét biztosan hivatkoznám, bár ők véges kapacitású rendszereket vizsgáltak, míg a disszertáció végtelen sorokra fókuszál. Naumov algoritmusai a mátrix-kvadratikus egyenletek megoldására tizenöt éve valóban a legjobb volt a világon, azóta a disszertációban használt ciklikus redukcióval még jobb eredményeket lehet elérni.

Az alábbi bírálói kérdésekkel kapcsolatban be kell vallanom, hogy nem csak elgondolkodtatók, hanem inspirálóak is, több közülük alapja lehet a jövőben új kutatási irányok megnyitásának.

1. kérdés: Mi az oka, hogy nem foglalkozott a véges kapacitású rendszerekkel, így a csonkítás problémája meg lett volna oldva?

Véges kapacitású rendszerek esetén a csonkítás látszólag valóban nem jelent problémát, hiszen a sorhosszt modellező Markov lánc végessége természetes lehetőséget kínál a távozási folyamat egzakt analizisére. A távozási folyamat ezekben a rendszerekben – ellentétben a végtelen rendszerekkel – egész pontosan egy Markov érkezési folyamat (MAP), tudományos szempontból tehát a véges eset jóval kisebb kihívást jelent, mint a végtelen.

A csonkítás ilyen módon való megvalósítása azonban csak elvben ilyen egyszerű. A keletkező, távozási folyamatot reprezentáló MAP hatalmas nagy lesz, hiszen fázisainak száma a sort leíró Markov lánc méretével lesz egyenlő. Ez a nagy MAP lesz aztán a hálózat következő csomópontjának az érkezési folyamata, ahol a nagy méretből adódóan a teljesítményjellemzők kiszámítása problémákba ütközhet. Ha az első csomópontban elég rövid a sorhossz (ezáltal nem túl nagy a távozási MAP), ez a megközelítés talán alkalmas lehet két csomópontból álló tandem hálózatok vizsgálatára, de ennél tovább a jelenleg ismert numerikus módszerek mellett nem lehet elmenni.

2. kérdés: Mi az oka, hogy a visszatérési rendszerek meg sem lettek említve, holott köztudott, hogy nagyon sok valós hálózat ezzel a sorbanállási rendszerrel jobban leírható, mint a hagyományossal?

A disszertáció a területi korlátozások miatt csak egyszerű, alapvető sormodellekkel foglalkozik, speciális viselkedésű sorokra, mint a visszatérési rendszerekre, nem tartalmaz eredményeket.

A visszatérési (retrial) sorokat valóban széles körben alkalmazzák. A fent említett orosz és fehérorosz szerzők számos eredményt értek el ezeknek a soroknak az analizisében. Az általuk követett megközelítés alapja legtöbb esetben az, hogy a sorviselkedést egy strukturált Markov láncsal írják le, melyet mátrix-analitikus technikákkal oldanak meg. A cikkekben alkalmazott és az általam a disszertációban alkalmazott módszertan hasonlósága miatt egészen biztosra veszem, hogy a disszertációban bemutatott együttes momentum alapú sorbanállási hálózat analizist ezekre a rendszerekre, ahogy sok más speciális rendszerre is, ki lehet terjeszteni.

Néhány, a disszertációban nem említett, alap sorbanállási modelleken túlmutató rendszert én magam is beillesztettem az együttes momentum alapú keretrendszerbe. Belgiumi vendégkedésem három hónapos időszaka alatt a felhasználók türelmetlenségét tekintetbe venni képes

sorokkal foglalkoztam. A vizsgálatok során arra jutottunk, hogy a távozási folyamat együttes momentumai ebben az esetben is kiszámolhatók a munkahátralék folyamat segítségével. Az eredményeket eddig még nem publikáltuk, de a munka összefoglalását tartalmazó kutatási jelentést szívesen az érdeklődők rendelkezésre bocsátom.

3. kérdés: Mit gondol, a véges forrású rendszerek beilleszthetők ebbe a kutatási területbe?

Véges forrású, sorrendi, fázis típusú kiszolgálással rendelkező rendszereket le lehet írni egy véges, heterogén kvázi születés-halálozási folyamattal (QBD-vel). A QBD végessége a források végességéből adódik, a heterogenitás pedig a szintfüggő érkezési folyamatból fakad, azaz az igények érkezési folyamata függ a rendszerben lévő igények számától. Az ilyen heterogén QBD-k egyensúlyi eloszlását lineáris szintredukció segítségével, szintről-szintre haladva ki lehet számítani. Az egyensúlyi eloszlás ismeretében pedig a távozási folyamat együttes momentumai az 5.3.3 fejezet 22-es tételében leírt módon számíthatók ki, azzal a különbséggel, hogy itt nem elegendő egy 3×3 méretű blokkot vizsgálni, hanem a teljes sort reprezentáló véges QBD generátort kell H_0 és H_1 mátrixokra bontani, és a (171)-es képletbe helyettesíteni.

A kérdésre tehát az a válasz, hogy igen, véges forrású sorok távozási folyamatára is ki lehet számítani az együttes momentumokat. Azonban a véges forrású rendszerek azon jellegzetességét, hogy a teljes hálózatban jelen lévő igények száma nem lehet egy adott értéknél (a források számánál) nagyobb, ez a megközelítés nem tudja visszaadni. Ennek oka, hogy a bemutatott eljárás a hálózat csomópontjait egymástól elkülönítve vizsgálja, nincs mód a csomópontok közötti összefüggések figyelembe vételére, e nélkül pedig nem lehet garantálni az össz-igényszámra vonatkozó kényszer teljesülését.

4. kérdés: A különböző prioritásos rendszerek analízise kiterjeszthető-e más többsztályos kiszolgálási politikák analízisére, mint pl. az arányos processor sharing, vagy a súlyozott processor sharing?

A prioritásos rendszerek analízisére bevezetett megközelítés kiterjesztése más többsztályos kiszolgálási politikákra sajnos közel sem egyszerű feladat. A legtöbb többsztályos kiszolgálási politika mellett még a legdurvább megkötésekkel (úgy mint Poisson érkezési folyamat és exponenciális eloszlású kiszolgálási idők feltételezése) sincs ismert mód a hatékony sorbanállási vizsgálatokra, nem ismert, hogy milyen technikával, megoldási technológiával érdemes kezelni ezeket a rendszereket. A processor sharing sorokat leíró Markov lánc például nagyon szép, szabályos szerkezetű, teljesül rá a mátrix-analitikus módszerek alkalmazhatóságához szükséges térbeli homogenitás, mégsem ismert a stacioner eloszlás formája.

Ugyanakkor a prioritásos sorokra rendelkezésre álló eredmények segíthetnek más kiszolgálási politikák közelítő vizsgálatában. John F. Shortle és Martin J. Fischer az „Approximation for a two-class weighted fair queueing discipline” című, a Performance Evaluation folyóiratban, 2010-ben megjelent cikkében például a súlyozott processor sharing rendszert egy prioritásos sorral közelíti, melyben az igényekhez speciális módon, véletlenszerűen rendel alacsony, illetve magas prioritást.

5. kérdés: A bemutatott sorbanállási hálózatok egyike sem tartalmaz visszacsatolást. Mit gondol mennyire hatékony a javasolt momentum alapú közelítő eljárás visszacsatolást tartalmazó hálózat esetén?

Ha a hálózatban visszacsatolás van, akkor a megoldáshoz iterációt kell alkalmazni: a sorok aggregált érkezési folyamatának előállítását, a távozási folyamat modellezését, és annak útvonalválasztás szerinti szétválasztását egészen addig ismételjük, míg egy stabil állapotba nem jutunk.

Ha a távozási folyamat MAP modellje nagyobb, mint az érkezési folyamaté, akkor ez az iteratív algoritmus nem alkalmazható, hiszen minden egyes iterációban egyre nagyobbra nőnek a forgalmat leíró MAP-ok. E miatt a hatás miatt a csonkításon alapuló módszerek visszacsatolás esetén szóba sem jöhetnek.

Az egyetlen megközelítés, ami visszacsatolt hálózatok esetén is működőképes, az a fogalmi paraméterek illesztésén alapuló megoldás, hiszen ha a forgalmat fix, előre rögzített számú paraméter jellemzi, akkor az egymást követő iterációk során a forgalmi modell mérete állandó marad. Az együttes momentum alapú megközelítés is rögzített számú forgalmi paraméter illesztésére épít, tehát alkalmas visszacsatolt hálózatok analízisére. Ilyen hálózatokon eddig még nem vizsgáltam az eljárás pontosságát, de a jövőben mindenképp érdemes ilyen irányú vizsgálatokat végezni.

Budapest, 2018. május 26.



Horváth Gábor