

UNIVERSAL COMPUTER SCIENCE 12:(9), (2006), pp. 1128-1138. (imp. f.: 0,338, 7 független hivatkozás)

- [9] Benyó, B., Hatwágner, F. M., Heckenast, T., Kovács, K., Varga, Á., Varjasi, N.: *Novel Communication Services Based on ENUM Technology*, In: Rudas, I. J., Tar, J.K., Szakál, A. (szerk.) Proceedings INES 2005. 9th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems. Mediterranean Sea, &, 2005.09.16-2005.09.19. Piscataway: IEEE Operations Center, pp. 217-220.(ISBN:0780394747) (0 független hivatkozás)
- [10] Benyó, B., Hatwágner, F. M., Heckenast, T., Kovács, K., Varga, Á., Varjasi, N.: *ENUM eljárásra alapuló szolgáltatások megvalósítása*, In: Pethő, A., Herdon, M. (szerk.) Informatika a felsőoktatásban 2005 konferencia. Debrecen, Magyarország, 2005.08.24-2005.08.26. Debrecen: Debreceni Egyetem, p. 125.(ISBN:963 472 909 6) (0 független hivatkozás)

5.3. A téziszfűzetben szereplő további hivatkozások

- [11] Keskin, A., Bestle, D.: *Application of multi-objective optimization to axial compressor preliminary design*, Aerospace Science and Technology, Vol. 10, Iss. 7, (2006), pp. 581-589
- [12] Marco, N., Lanteri, S.: *A two-level parallelization strategy for Genetic Algorithms applied to optimum shape design*, Parallel Computing, Vol. 26, Iss. 4, (2000), pp. 377-397.
- [13] Schwefel, H. P.: *Kybernetische Evolution als Strategie der experimentellen Forschung in der Strömungstechnik*, Hermann-Föttinger-Institut für Strömungstechnik TU Berlin, (1965).
- [14] Sommer, L., Bestle, D.: *Curvature driven two-dimensional multi-objective optimization of compressor blade sections*, Aerospace Science and Technology, Vol. 15, Iss. 4, (2011), pp. 334-342.

Hatwágner Ferenc Miklós

Nagy számításidejű, folytonos változójú
célfüggvények optimalizációja evolúciós
számítások segítségével

doktori tézisek

Témavezető:

Dr. Horváth András
Széchenyi István Egyetem
Fizika és Kémia Tanszék

Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése
Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola
Győr

2012

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	3
2	A kutatások során alkalmazott módszerek	5
3	Tézisek	7
4	Összegzés és kitekintés	9
5	Publikációs jegyzék.....	11
5.1.	A doktori értekezésben hivatkozott publikációk.....	11
5.2.	A doktori értekezésben nem hivatkozott publikációk.....	11
5.3.	A tézisfüzetben szereplő további hivatkozások	12

5 Publikációs jegyzék

5.1. A doktori értekezésben hivatkozott publikációk

- [1] Hatwágner, F. M., Horváth, A.: Comparative Analysis of Parallel Gene Transfer Operators in the Bacterial Evolutionary Algorithm, Acta Polytechnica Hungarica (közlésre elfogadva)
- [2] Hatwágner, F. M., Horváth, A.: *Error handling techniques of genetic algorithms in parallel computing environment*, Pollack Periodica, Vol. 3, No. 2, (2008), pp. 3-14, ISSN 1788-1994. (1 független hivatkozás)
- [3] Hatwágner, F. M., Horváth, A.: *Maintaining Genetic Diversity in Bacterial Evolutionary Algorithm*, Annales Univ. Sci. Budapest, Sec. Comp, Vol. 37, Budapest, (2012), pp. 175-194. (0 független hivatkozás)
- [4] Hatwágner, F. M., Horvath, A.: *Parallel Gene Transfer Operations for the Bacterial Evolutionary Algorithm*, Acta Technica Jaurinensis, Vol. 4, No. 1, (2011), pp. 89-112. (0 független hivatkozás)
- [5] Hatwágner, F. M., Horváth, A.: *Párhuzamos genetikus algoritmusok hibakezelési stratégiái*, Gép, Vol. LXI., (2010), pp. 7-13.
- [6] Hatwágner F. M., Horváth A.: *The effect of computer network errors on genetic algorithms*, Pollack Periodica, Vol. 2, No. 2, (2007), pp. 3–12. (0 független hivatkozás)
- [7] Horváth, A., Hatwágner, F. M., Harmati, I. Á.: *Searching for a nonlinear ODE model of vehicle crash with genetic optimization*, Konferenciakiadvány: SACI'2012, Temesvár, Románia, (2012) (közlésre elfogadva)

5.2. A doktori értekezésben nem hivatkozott publikációk

- [8] Benyo, B., Hatwágner, F. M., Heckenast, T., Kovács, K., Varga, Á., Varjasi, N.: *Design and implementation of Enum-based services*, JOURNAL OF

A gyakorlatban felmerülő optimalizációs problémák megoldására is jól használható genetikus algoritmus megvalósítások sokkal bonyolultabbak, mint az eredeti, kanonikus genetikus algoritmus. A kényszerített mutáció, a hibrid megoldások (pl. hegymászó vagy más lokális kereső integrálása), a niching, stb. egyre összetettebb szoftvereket eredményeztek, egyre több potenciális hibaforrással. Ilyen körülmények között értékelhető igazán egy, a genetikus algoritmushoz képest új, egyszerűbb felépítésű, ugyanakkor legalább annyira ígéretes módszer, a bakteriális evolúciós algoritmus. Természetes módon merült fel a kérdés, hogy az egyszerűbb felépítés ellenére vajon alkalmas-e ugyanazoknak a problémáknak a megoldására? Mint arra kutatásom során rámutattam, kisebb módosításokkal ez az algoritmus is alkalmassá tehető az összetett mérnöki optimalizálási feladatok elvégzésére. Sikerült elérnem, hogy az algoritmus jól skálázódjék, jól használja ki a rendelkezésre álló erőforrásokat, és a konvergencia sebességét is sikerült növelnem a kényszerített mutáció alkalmazásával. Ráadásul ez utóbbi igazán egyszerűen megvalósítható és használható, mert egy adaptív módszernek köszönhetően az ideális paraméter értékek beállításával sem kell foglalkoznia a módszert alkalmazni kívánó mérnököknek.

Természetesen a munka számos irányban folytatható, pl. érdekes lenne további vizsgálatokat folytatni a hibrid megoldások terén, egyesítve az evolúciós elvű algoritmusok előnyeit más elven működő lokális keresőkével. Itt külön kihívást jelent, hogy az utóbbiak a lehető legkisebb számítási komplexitásúak legyenek, és ne szűkítsék le az evolúciós algoritmusokkal egyébként megoldható feladatok körét. Másik kutatási irányként az adaptív kényszerített mutáció továbbfejlesztését tudom említeni. Bár a javasolt módszer egyértelműen hasznos, azonban érdemes lenne a célfüggvény tulajdonságait jobban figyelembe vevő és kihasználó, ezáltal még hatékonyabb eljárások kialakításán gondolkodni.

1 Bevezetés

Ritkán gondolunk bele, de mindennapi életünk során számos olyan rendszert, szolgáltatást, terméket használunk, melyeknek megalkotása elképzelhetetlen lenne a különféle optimalizálási módszerek nélkül.

A sajtóban nap mint nap jelennek meg hírek arról, hogy az üzemanyagok árai folyamatosan emelkednek. Ezzel egyidejűleg egyre nagyobb problémát jelent a különféle üvegházhatású gázok (elsősorban CO₂) kibocsátásának mérséklése. E két problémát egyszerre enyhítheti, ha a járműgyártók képesek az autók fejlesztésével, a belsőégésű motorok hatásfokának növelésével csökkenteni a fogyasztást és a szennyezőanyag-kibocsátást. Ez utóbbi az egyre szigorodó környezetvédelmi normák miatt törvényi kötelessége is az autógyáraknak. Mindaddig, amíg egy jelentős technológiai áttörésre nem kerül sor, a jelenlegi konstrukciók működésének optimalizálása elkerülhetetlen a kedvezőbb működési paraméterek elérése érdekében.

A repülőgépek tervezésekor szintén óriási jelentősége van az optimalizációnak. A dolgozatom címében is szereplő evolúciós számítások egyik ágát éppen a repülőgépek szárnyainak alakoptimalizálása hívta életre. Hans-Paul Schwefel már diplomamunkájában [13], az 1960-as években is áramlástan optimalizációval foglalkozott, és vizsgálta a biológiai jelenségek optimalizációs célra történő felhasználásának lehetőségeit. A repülőgépek szárnyprofiljának optimalizálása rendkívül lényeges, hiszen befolyásolja a közegellenállást, felhajtóerőt, üzemanyagfogyasztást, stb. Schwefel különféle klasszikus, gradiens alapú módszerek és a Gauss-Seidel iteráció alkalmazása közben szembesült ezek alkalmazási korlátaival, és jutott el az evolúciós stratégiák létrehozásáig. Az evolúciós számításoknak dolgozatomban részletesen ismertetett másik ágát, a genetikus algoritmust (esetleg más módszerekkel kiegészítve) a mai napig gyakran

alkalmazzák ezen a területen a szárnyak és hajtóművek kialakításának optimalizálása céljából (ld. pl. [11], [12], [14]).

A növekvő energiaárak mellett egyáltalán nem mindegy a fogyasztók számára, hogy a villamos energia mekkora hálózati veszteségek mellett jut el az erőműtől a háztartásokig. Ezeknek az összetett hálózatoknak a kiépítését ráadásul nem lehet csupán egyetlen szempontot figyelembe véve végezni, hiszen pl. az ellátásbiztonság sem szenvedhet csorbát, előnyben kell tudni részesíteni az olcsó és környezetkímélő, de rendszertelenül termelhető megújuló forrásból származó energiát, stb. Ebből már látható, hogy a hálózatot több szempontból is optimálisan kell kialakítani, működtetni.

A gyárak működési költségét jelentősen tudja befolyásolni, hogy a különféle nyersanyagok, alkatrészek milyen és mennyire kihasznált közlekedési eszközzel, milyen úton jutnak el az összeszerelés helyére, illetve onnan hogyan jutnak el a késztermékek a vásárlókhoz. Hasonlóan fontos feladat a gyártás megszervezése, a megfelelő műveleti sorrendek, a feladatok időbeli ütemezésének kialakítása. Ezek nem csak egy-egy vállalat nyereségét tudják befolyásolni, de akár a piaci versenyképessége vagy a pusztá fennmaradása is múlhat azon, ha az egyes területeken pazarló a működés.

Ez a néhány példa is jól érzékelteti, hogy az optimalizációs algoritmusok nélkülözhetetlenek, és ebből kifolyólag széleskörűen alkalmazottak a gazdasági és műszaki életben. Ezek a módszerek az ipari forradalom óta tettek szert különös gyakorlati jelentőségre, vagy ezt követően születtek meg (pl. a lineáris programozás a második világháború alatt és után) de a tudósok már évszázadokkal ezelőtt is foglalkoztak azzal, hogy hogyan lehet megtalálni bizonyos típusú feladatok lehető legjobb megoldását. Például Pierre de Fermat már a XVII. században lejegyezte a kényszerfeltételek nélküli folytonos függvények lokális optimumainak szükséges feltételeiről szóló tételét.

igazoltam, hogy a javasolt új módszerek nem rontják le a genetikai változatosságot.

B-2: *Numerikus kísérletekkel megállapítottam, milyen számú génátvitel szükséges a gyors konvergenciához.*

B-3: *Hatékony módszert javasoltam a genetikai változatosság megőrzésére és a módszer paramétereinek adaptív beállítására.*

A *B* tézisben megfogalmazott eredményekhez a következő publikációk kapcsolódnak: [1], [3], [4].

4 Összegzés és kitekintés

Dolgozatomban a genetikai algoritmusokkal és a bakteriális evolúciós algoritmusokkal kapcsolatos kutatómunkám eredményeit foglaltam össze. A vizsgált problémákat valamilyen valós mérnöki feladat, illetve az annak megoldása közben történt megfigyelések, észrevételek születtek.

Témavezetőm egy áramlástan optimalizáció elvégzésén fáradozott, amikor kénytelen volt szembesülni azzal a problémával, hogy a számítógépes klaszteren futtatott, párhuzamos genetikai algoritmus működését és az eredmények elérését erősen veszélyezteti a megbízhatatlan hardveres és szoftveres környezet. A kutatómunka ugyan végül sikeresen lezárult, de sok megoldatlan kérdés maradt, amelyek megválaszolásában érdemi szerepet kaphattam. Az a sejtésünk, hogy a genetikai algoritmus robosztus felépítésében rejlő lehetőségeket egy teljesen újszerű hibakezelési stratégia megvalósítására is lehetne használni, beigazolódt. Végül nem csak egy, hanem rögtön kettő – igaz, eléggé hasonló – stratégiát is sikerült kialakítani, melyek közül az egyik később rendkívül hasznosnak bizonyult, és a gyakorlatban is bizonyított egy paraméter-identifikációs probléma megoldása során.

Az „eldobó” stratégia a célfüggvény értékét hiba esetén nagyon rossz értékkel helyettesíti, pl. ha a célfüggvény nem értékelhető ki a keresési tér előre nem látható pontjaiban. A módszert sikeresen alkalmaztam egy mérnöki probléma megoldására párhuzamos környezetben (autó-töréstarteszt alacsony dimenziószámú modelljének paraméter-identifikációja).

Javaslatot tettem egy „hibrid” hibakezelési stratégiára, mely jobbnak bizonyult az ismételt kiértékelési kísérletek módszerénél és az A-1-ben említett, a hibás eseteket sosem újra kiértékelő metódusnál.

Az A tézisben megfogalmazott eredményekhez a következő publikációk kapcsolódnak: [2], [5], [6], [7].

B: Az egyre növekvő népszerűségű bakteriális evolúciós algoritmus (BEA) génátvitel-operátora nem párhuzamosítható. Azt vizsgáltam, hogyan lehetne ezt orvosolni, hogy a BEA nagy számításidejű problémákra, párhuzamos környezetben is alkalmazható legyen. Három, az eredetitől eltérő génátvitel-operátort dolgoztam ki és vizsgáltam meg mester-szolga párhuzamosítási módszer esetén. A kapott eredmények lehetővé teszik, hogy a BEA-t hatékonyan alkalmazzuk párhuzamos környezetben.

B-1: *Igazoltam, hogy a javasolt génátvitel-operátorok (az eredetivel szemben) jól skálázódnak. Használatuk már két processzor esetén is előnyösebb az eredetinel. Az eredeti és a javasolt új génátvitel-operátorok esetén elméleti modellt adtam a párhuzamos hatékonyságnak a módszer paramétereitől (pl. CPU-k száma, populációméret, stb.) való függésére és ennek helyességét numerikus kísérletekkel igazoltam. Szintén numerikus kísérletekkel*

Dolgozatomban a matematikai optimalizálásnak egy speciális, viszonylag új keletű részterületével, az evolúciós algoritmusokkal (genetikus algoritmussal (GA) és bakteriális evolúciós algoritmussal (BEA)), ezen belül is a dinamikai rendszerek optimalizációja (pl. áramlástani, alakoptimalizálási problémák) során fontossá váló nehézségek kezelésével foglalkoztam. Ezek a jellemzően mérnöki, rendkívül összetett feladatok a klasszikus optimalizálási módszerekkel csak nagy nehézségek árán vagy egyáltalán nem lennének megoldhatóak, mert a módszerek alkalmazásának feltételei rendszerint nem teljesülnek. Valószínűleg éppen ez lehet az egyik oka annak, hogy a GA és a BEA annak ellenére is egyre nagyobb népszerűségnek örvend, hogy esetükben nem garantált az, hogy megtalálják a globális optimumot, illetve jelentős számítási teljesítményre van szükség az alkalmazásukhoz.

2 A kutatások során alkalmazott módszerek

A disszertációban található fő fejezetek közül kettő a két fő kutatási irányomhoz kapcsolódik. Ezek közül az első a genetikus algoritmusokkal kapcsolatos, második a bakteriális evolúciós algoritmusokhoz kapcsolódó eredményeket mutatja be.

A genetikus algoritmusokkal kapcsolatban újfajta hibakezelési stratégiákat fogalmaztam meg. A szakirodalomban korábban is lehetett találkozni azzal a megoldással, hogy a különféle okokból el nem végezhető célfüggvény kiértékelések esetén a célfüggvény értékét valamilyen „nagyon rossz” értékkel helyettesítették (eldobó stratégia). Nem talákoztam azonban olyan publikációval, ahol ennek a stratégiának a kvalitatív, módszeres elemzését megfelelően elvégezték volna. Első alkalommal ezt a hiányosságot pótoltam számtalan numerikus kísérlet elvégzésével, melyek során alapvető statisztikai módszereket használtam. Ezek segítségével megállapítottam, hogy az eldobó stratégia alkalmazása lassítja a

konvergencia sebességét és a populáció degenerálódásával jár, de azonos futásidő mellett jobb eredményeket lehet vele elérni, mintha minden hibás számítást megismételnénk (újraszámoló stratégia).

Valószínűség számítási módszerek segítségével sikerült alsó korlátot adni az újraszámoló stratégia használata esetén szükséges számítási körök számára, ami a futásidővel arányos mennyiség. (Kutatásaim során mester-szolga architektúrával párhuzamosított genetikus algoritmus használtam, amelyben a szolga processzorok egyedüli feladata a célfüggvények kiértékelése volt. Számítási kör alatt a szolga egységek egy adott generáció előállítására érdeklődtek elvégzett célfüggvény kiértékeléseinek számát értem.) Az eredményeket Monte Carlo szimuláció segítségével validáltam. Javasoltam az eldobó és az újraszámoló stratégia kombinálásával létrehozott hibrid stratégia alkalmazását, amely a legtöbb esetben az előzőeket felülmúló eredményességgel használható. Ezt szintén numerikus kísérletekkel igazoltam.

Az eldobó stratégiát sikeresen alkalmaztam egy autó törésteszt alacsony dimenziószámú modelljének paraméter azonosítása során. A feladat nehézségét az jelentette, hogy az alkalmazott modellben bizonyos előre nem látható paraméter értékek esetén a differenciálegyenletek merevvé (stiff) váltak. Ez a gyakorlatban elfogadhatatlanul hosszú futásidőt, vagy egyenesen kiértékelhetetlen célfüggvényt jelentett. A differenciálegyenlet rendszer megoldását Runge-Kutta-Fehlberg (4,5) módszerrel végeztem, adaptív lépésköz választással.

Dolgozatom másik fő fejezete a bakteriális evolúciós algoritmusokhoz kapcsolódik. Mivel a BEA egyik fő operátora, a géntranszfer nem párhuzamosítható, ezért három módosított változatot dolgoztam ki. Ezeknek a módosított géntranszfereknek a párhuzamos hatékonyságra (efficiency), gyorsulásra (speedup) és genetikus változatosságra gyakorolt hatását szintén numerikus kísérletekkel mutattam ki. Utóbbi túlságosan alacsony értéke miatt

tanulmányoztam a genetikus változatosság fenntartását illetve növelését célzó klasszikus módszereket (fitness sharing, speciation, crowding, restricted tournament selection, tag bits). Mivel ezeket a módszereket a genetikus algoritmusokkal történő használatra dolgozták ki, ezért meg kellett vizsgálni a BEA-val történő felhasználás lehetőségét is. Javaslatot tettem az ún. kényszerített mutáció alkalmazására, valamint kidolgoztam a módszer paramétereinek adaptív, probléma független módosítását biztosító algoritmust.

3 Tézisek

A: A gyakorlatban sokszor előfordul, hogy egy optimalizációs probléma célfüggvényének kiértékelése egy teljes numerikus modell végrehajtását jelenti nagy CPU-idővel, és ezeket a kiértékeléseket több számítógép közt osztjuk szét. Ilyenkor számtalan hibalehetőség (pl. hálózati kapcsolat kimaradása, hardver/szoftver hibák, stb.) zavarhatja meg a számításokat. A sikertelen vagy túl sokáig tartó célfüggvény-kiértékelések kezelése kulcsfontosságú az optimumkeresés gyorsasága szempontjából. Az ilyen jellegű hibák szimulálását „meteorozásnak” neveztük, amit az algoritmus viselkedésének elemzése érdekében alkalmaztunk. A következő megállapítások minden ilyen probléma megoldása esetén hasznosak.

A-1: *A meteorozást ismert tesztfüggvényeken alkalmazva kimutattam, hogy meglepően magas, akár 20%-os hibaarány esetén is érdemes az ismételt kiértékelési kísérlet helyett a problémás egyedeket nagyon rossz célfüggvény-értékűnek deklarálni, mert ez alig ront az adott számú generáció után elért eredményen, viszont egy rögzített célfüggvény-érték eléréséhez szükséges fizikai időt (wall clock time) jelentősen csökkentheti.*

A-2: *A hibás kiértékelések kezelésére három stratégiát (újraszámoló, eldobó, hibrid) vizsgáltam analitikus számításokkal és numerikus tesztekkel.*