

Logisztikai optimumkeresési feladatok futási idejének csökkentése a párhuzamosítással

1. A logisztikai optimalizálási feladatok főbb problémái

Napjainkban, a logisztikai rendszerekben jelentkező összetett optimumkeresési feladatok megoldásához többnyire számítógépes segítséget használunk. A személyi számítógépek teljesítménye a legtöbb esetben elégségesnek bizonyul, de sokszor olyan problémába ütközünk, amikor a számítási igény meghaladja a mai hétköznapi eszközök számítási kapacitását, ezért általában egyszerűbb, közelítő matematikai eljárást alkalmazunk. Nagy hátránya a leegyszerűsített matematikai eljárásoknak és modelleknek, hogy az optimum keresése során csak kevés számú kritériumot tudnak figyelembe venni, ezért csak korlátozottan alkalmasak az olyan összetett feladatok globális optimumának meghatározására, amivel a valóságban találkozunk. Sokszor előfordul az a helyzet is, amikor a rendszer pontos működése – a rendszer összetettsége miatt – nem ismert, csak a bemenetre adott válaszok ismertek. Ilyenkor az analitikus modell meghatározás nem lehetséges, így ezekben az esetekben a rendszer vizsgálatára – a szabályok pontos feltárása és a rendszer modellezése után – szimulációs eljárásokat célszerű alkalmazni.

Szerencsére a vállalatirányítási rendszerek elterjedésével a vállalatoknál egyre szélesebb spektrumban és egyre jobb minőségben állnak rendelkezésre a vizsgálatokhoz szükséges adatok. Ezek az adatok gyorsan hozzáférhetőek és dinamikus valós idejű visszacsatolást tesznek lehetővé a rendszerben. Sajnos általában tényleg „csak” az adatok állnak rendelkezésre. Kétségtelen, hogy már ez is nagy eredmény, de üzleti intelligencia megoldások nélkül a fentebb ismertetett (jellemzően operatív jellegű) optimumkeresési feladatok nem valósíthatók meg. Ilyen operatív jellegű logisztikai optimumkeresési feladatok lehetnek például a valós idejű anyagfelhasználás vagy termelés visszacsatolása az ellátási láncra, gépjárműflotta valós idejű diszponálása, illetve menet közbeni újradiszponálása, vállalatirányítási rendszer készletstratégiáinak dinamikus kezelése, stb. A megfelelő minőségben rendelkezésre álló adatmennyiség feldolgozásának, továbbá a rendszer valós idejű szabályozásában való felhasználásának sok esetben a számítási teljesítmény szűkössége szabhat határt. Az ilyen nagy számításigényű feladatok megoldására két módszert alkalmazhatunk, vagy korszerű optimalizáló eljárásokat használunk, vagy a már meglévő számítási egységek számát többszörözzük meg és ez által nagyobb számítási kapacitáshoz jutunk. Az egyik ilyen korszerű optimalizáló eljárás az

¹ PhD hallgató a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésüzemi Tanszékén.

² Vezető tanácsadó, szakmai vezető az Adversum Tanácsadó és Szolgáltató Kft.-nél ill. tanársegéd a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésüzemi Tanszékén.

evolúciós módszerek (Evolution Methods) családjába tartozó genetikus algoritmus, amely az egyik legkedveltebb és széles körben használható eljárás. Legfőbb előnye, hogy akkor is hatékonyan alkalmazható, ha a feladat megvalósítása során több kritérium figyelembevétele szükséges, esetleg annak nincs egzakt megoldási módszertana, vagy a megoldás nehezen algoritmizálható. A másik korábban említett lehetőség a meglévő erőforrások sokszorozása, és egy rendszerbe való foglalása. Ennek legáltalánosabb megvalósításai az 1970-es évek óta létező elosztott rendszerek, ezen belül a klasszikus szuperszámítógépek (MPP), a clusterek, illetve a napjainkban egyre jobban elterjedő számítógépes gridek.

Ezek az eszközök és eljárások már elérhetőek, de alkalmazásuk nem került kultiválásra a mérnöki tudományok területén, még kevésbé egy olyan típusú részterületen, mint a logisztika. A korszerű optimalizálási algoritmusok elosztott rendszerekben való futtatása hatalmas lehetőséget rejt magában. Az együttes alkalmazásukkal elérhető számítási teljesítménynövekedés hozzájárulhat ahhoz, hogy a logisztika területén jelenleg általánosan használt modellek tovább finomíthatóak legyenek, illetve talán ami az egyik legfontosabb előrelépési lehetőség: a gyakorlatban jelentkező sokszor kivárthatatlan idejű optimumkeresési feladatokat is „kivárhatóan rövid idő alatt” meg lehessen oldani.

2. Jelen és jövő

Korábban a szuperszámítástechnika csak szűk réteg számára volt elérhető, amely elsősorban a berendezések árának illetve a megfelelően képzett szakemberek hiányának volt köszönhető. Egy ilyen többprocesszoros rendszer ára még öt évvel ezelőtt is több 100 millió forintba került. Azonban napjainkra a számítástechnikai fejlődés és a piac felső szegmensének telítődése révén a nagyteljesítményű számítógépeket gyártó cégek a piac alsó szegmenséi felé nyitnak. Jó példa erre az egyik piacvezető gyártó a Cray, amely piacra dobta történetének eddigi legolcsóbb gépét a CX1-et. Az Intel Xeon processzorán alapuló CX1 operációs rendszere a Windows, illetve ennek kifejezetten erre a területre fejlesztett változata a Windows HPC Server 2008. A Cray és a Microsoft egy olyan „asztali szuperszámítógépet” hozott létre, amit bárki tud üzemeltetni, akinek van Windows-os tapasztalata. Óriási előnye a jelenleg elterjedt UNIX/Linux-os megoldásokkal szemben, hogy könnyebben telepíthető és üzemeltethető, könnyen integrálható a meglévő Windows-os környezettel, illetve az alkalmazásfejlesztés is könnyebb lehet a Visual Studio 2008 beépített támogatása segítségével.

A Cray CX1 architektúráját tekintve egy cluster (fürtözött rendszer), amely nyolc csomópontot tartalmaz, csomópontonként két foglalattal. Ezekbe a foglalatokba jelenleg két- illetve négymagos Xeon processzorok rendelhetők, így maximális kiépítés mellett 64 processzormag várja a feladatokat. A memória maximális mérete 512 gigabájt, a háttértár maximális mérete 4 terabájt lehet. Természetesen a vásárlásakor az ügyfelek saját igényeik alapján állíthatják össze a gépet a rendelkezésre álló modulokból. Az óriási számítási teljesítmény

ellenére a szállított rendszer ára igen csekély, mindössze 5-10 millió forintot kell fizetni a kiépítéstől függően. Látható tehát, hogy mára a korábbi számítási kapacitás többszöröse is elérhető annak töredék áráért, és ez a tendencia a jövőben folytatódni fog (1. ábra).



1. ábra: A BME Compaq Alpha clusterre (2001) és a Cray CX1 (2008) – méretarányos kép

Már ma látható, hogy a számítástechnikai teljesítménynövelés a „többszálúsítás” irányába mozdul el, hiszen az egyes processzormagok frekvencia növelésének és a méret csökkentésének fizikai korlátait lassan elérjük. Ezért elengedhetetlen, hogy a jelenleg használt módszereket úgy alakítsuk át, hogy ezt a lehetőséget ki tudjuk használni. De miért is aktuálisak ezek a kérdések a számunkra? A nagyobb számítási igényű logisztikai jellegű optimumkeresési feladatok ilyen típusú megoldási lehetőségeinek vizsgálata céljából telephely választási és készletezési problémákat teszteltünk a BME³ Compaq Alpha clusterén.

3. Telephely választási problémák párhuzamos megvalósítása

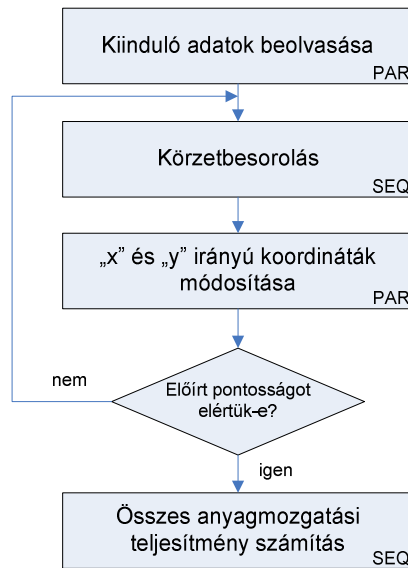
A telephely, illetve a telephelyek megválasztása stratégiai jelentőségű a vállalatok számára, hiszen ezeknek a kijelölése hosszú távon befolyásolja az ellátási hálózatok működését, gazdasági eredményességét, versenyképességét. Az egyre éleződő versenyben és a megnyílt piacon még fontosabbá kezd válni a telepítési döntések műszaki-gazdasági megalapozása. Ez azonban egyre nehezebb feladat, hiszen amellett, hogy a telephelyválasztást közvetlenül befolyásoló tényezők száma nő, a megnyílt európai piacra való kilépés vagy annak szándéka is megjelent. Korábban elég volt egy kis térség igényeit figyelembe venni a választáshoz és a befolyásoló tényezők is csak a nyersanyag- és energiaellátás, valamint a munkaerő meglétére korlátozódtak. Napjainkra azonban ezeknek a száma megsokszorozódott és kiterjedt egész Európára. Ma már többek között figyelembe kell venni a megfelelő kapacitású közlekedési (közúti, vasúti, vízi, esetleg légi) kapcsolatokat, a differenciált munkaerő igényt, a fizetőképes keresletet, a vállalatok fejlesztési politikáját és a

³ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

munkaerő költségét is. Ezekből látszik, hogy a döntés rendkívül összetett, információ- és számításigényes feladattá vált. A megalapozott szakmai döntések meghozatalára elengedhetetlen olyan eszközök és eljárások megléte, amely támogatja az ilyen felelős döntések meghozatalát.

A támogatás megvalósítására matematikai módszereket célszerű alkalmazni. A megoldásra több matematikai modell létezik, de az azonnal kitűnik, hogy ezek a modellek általában nem eléggé összetettek, multikritériumosak. A valós folyamatok jóval sokrétűbbek és a vállalati ellátási hálózatok működése is sokkal bonyolultabb ezeknél, ezért két út adódik, vagy a megoldandó feladatot egyszerűsítjük le annyira, hogy egy meglévő modelleket tudjunk alkalmazni rá, vagy megpróbálunk a modelljeink egy olyan kombinációját felépíteni, amely a legjobban közelíti a valós rendszer működését. Az első esetben csak optimum közeli megoldást kapunk, amelyek esetében az állandóan felmerülő kérdés: vajon milyen távol vagyunk az optimumtól, mennyire sikerült megközelíteni az optimális állapotot? A második esetben az optimum nagyon jó közelítéssel megtalálható, viszont ez rendkívül számításigényes és hagyományos számítástechnikai eszközökkel nehezen megvalósítható, ezért új megoldási lehetőségek felkutatása szükséges.

A telephely választási probléma matematikai szempontból az úgynevezett centrumkeresési problémák közé sorolható. A megoldás célja annak az optimum pontnak vagy pontoknak a meghatározása, ahova a telepítendő telephely vagy telephelyek telepítése „matematikai szempontból” javasolható. Természetesen a kapott eredmény csak egy elvi megoldás, a végleges elhelyezést számos külső tényező módosíthatja. A párhuzamosítás lehetőségének kihasználása szempontjából a többkörzetes változatot teszteltük, bár ebben az esetben is a megoldás egykörzetes problémára kerül visszavezetésre. A többkörzetes centrumkeresési probléma esetén egyszerre több új üzem vagy elosztó központ telephelyének meghatározása a cél, méghozzá oly módon, hogy az összes szállítási teljesítmény minimális legyen. A szállítási teljesítményt a valóságban több tényező befolyásolja, így tehát már a célfüggvény felírása sem egyszerű feladat. A vizsgálat során a koordináták menti centrumnyomozás módszerét teszteltük, melynek kidolgozása Jándy Géza nevéhez fűződik. Az eredeti módszert több körzetre terjesztettük ki olyan módon, hogy az igénypontok klaszterezése és a telephelykeresés az egyes körzetek esetében párhuzamosan történjen. Az így létrejött algoritmus elvi folyamatábráját a 2. ábra szemlélteti, amelyben feltüntetésre kerültek a sorosan (SEQ) és párhuzamosan (PAR) végrehajtható részek.

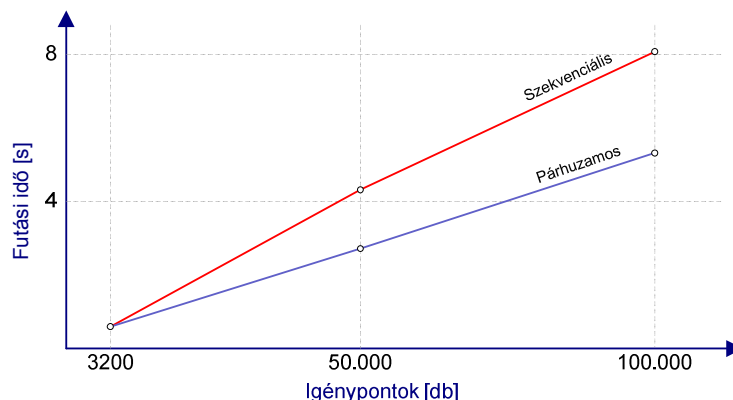


2. ábra: A koordináták menti centrumnyomozás párhuzamosított működése

A kiterjesztett algoritmust az összehasonlítás végett mind hagyományos szekvenciális, mind párhuzamos módon teszteltük. A modellben az alábbi két esetet vizsgáltuk:

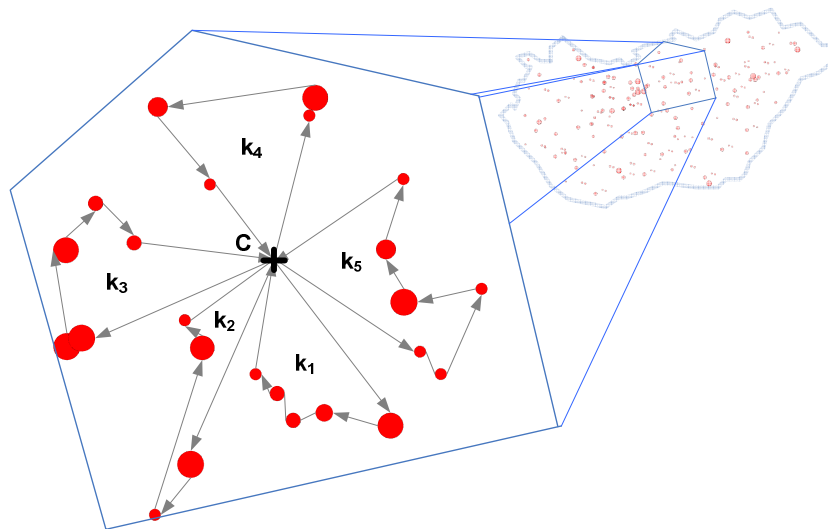
- az ismert, vagy prognosztizált igényű, és geokódolt igénypontok száma 3200 (ez hasonlítható egy kisebb régió elosztási hálózatához), illetve
- 100.000 (pl. nagyjából egy kontinens többszintű elosztási hálózata).

Az algoritmus lefuttatása után a futási időkből az a következtetés vonható le, hogy 50% körüli „gyorsulás” tapasztalható a párhuzamos algoritmus futtatása esetén (3. ábra), viszont ez a gyorsulás csak akkor jelentkezik, ha jelentős adatmennyiséggel, egy bonyolult problémán dolgozunk. Egy relatíve „egyszerű” probléma megoldására ennek használata nem indokolt. Ebből tehát levonható az a következtetés, hogy minél több „egyéb” tényezőt integrálunk a modellbe (pl. multikritériumos döntések), annál markánsabban jelentkeznek a párhuzamos megoldás előnyei.



3. ábra: Program futási idők összehasonlítása

Ilyen módon akár feltételezhetünk egy olyan stratégiai típusú matematikai modell megvalósítását is, amikor az optimumkeresés során egy adott iterációs lépésben megkapott ideiglenes iterációs ponton és a hozzárendelt igénypontokon megoldunk egy diszpozíciós, valamint annyi körutazási problémát, ahány járatdiszpozíciót létre kell hozni, figyelembe véve a járművek kapacitását és a járatok időbeli korlátját (4. ábra). Ebben az esetben például az optimalizált körutak hossza, esetleg a körjáratokra vonatkozó szállítási teljesítmény adhatja az egyik célfüggvényt a döntési modellben.



4. ábra: Egy körzet kiszolgálásának egyik lehetséges stratégiája

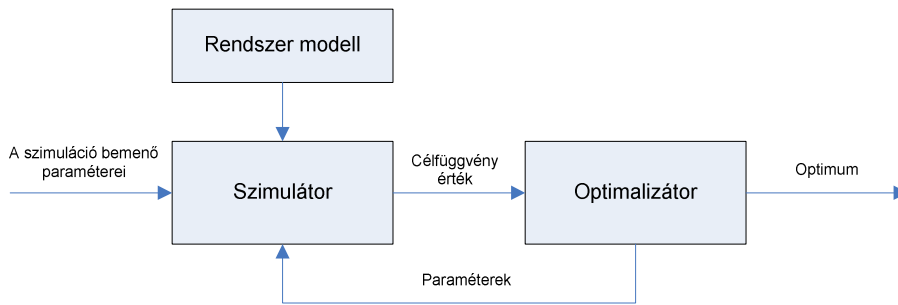
Valószínűsíthető továbbá az is, hogy ezzel az új típusú megközelítéssel a valós helyzethez közelebbi megoldást kaphatunk, hiszen ebben a modellben már figyelembe tudjuk venni a valós kapacitás korlátokat, a kiszolgáló rendszer sajátosságait, ezáltal rendszer szinten magasabb lehet a kapacitáskihasználás mértéke, illetve csökkenhet az összköltség is.

4. Készletoptimalizáló feladatok megvalósítása párhuzamos genetikussal

Minden vállalkozás szeretné a költségeit csökkenteni ezáltal nagyobb profitot elérni. Ennek az egyik kézenfekvő és napjainkban egyre inkább előtérbe helyezett módja a készletezési költségek, illetve a lekötött tőke mértékének csökkentése. A cél elérésének érdekében az egyik legfontosabb dolog egy jól működő információs rendszer kiépítése, melynek segítségével a megfelelő információk birtokában a tervezési és üzemeltetési feladatok elláthatók. Ezeknek a feladatoknak a nagy része ciklikus optimumkeresési probléma, és megoldásuk számtalan matematikai egyenlet, egyenlőtlenség kiszámítását jelenti, ezek után a lehetőség kínálja magát, hogy foglaljuk ezeket egy rendszerbe, és közel valós idejű optimalizációt hajtsunk végre. Általános érvényű tapasztalat, hogy annak

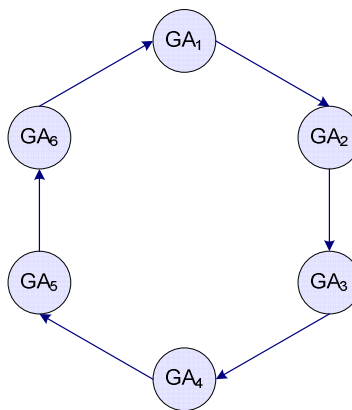
ellenére, hogy a vállalatoknál az információs háttérrendszerek adottak, és az adatok általában rendelkezésre állnak, mégis inkább a becslést és tapasztalati megoldásokat részesítik előnyben. Ennek egyik legfőbb oka a sokszor kivárhatatlanul hosszú optimumkeresési idő, valamint a sokszor érthető szkepticizmus. Más esetekben sokszor direkt „mesterségesen” magasan tartják a készletszintet, ezáltal növelik a készletezési költségüket, és az egész logisztikai láncban jelen lévő problémák rejtve maradnak. Sajnos igen kicsi azon vállalatok köre, amelyek időben felismerik a problémákat, mi több tudatosan tenni is akarnak ez ellen. Más szempontból nézve a működő rendszerek optimalizálásának egyik fő nehézsége a készletezési problémák esetében is az, hogy a megoldandó feladatok az esetek nagy többségében multikritériumosak, melyeket a hagyományos klasszikus eljárások nem támogatnak. Ilyen kritériumok lehetnek például a teljesség igénye nélkül pl. az eltérő beszállítók eltérő szempontjainak egyidejű figyelembevétele, a termékek eltérő logisztikai paramétereinek figyelembevétele, az ellátási lánc szintű kritériumok vs. lokális problémák, rugalmasság és szolgáltatási színvonal emelése a készletek egyidejű csökkentésével stb. További nehézség az, hogy mindezeket egyszerre több beszállítóra, illetve több termékre kell megvalósítani, ami rendkívül idő és erőforrás igényes lehet, nem is beszélve a feladat megoldásához szükséges szakmai know-how igényről.

A fenti optimumkeresési problémák megoldására egy gondosan felépített rendszer- és folyamatmodell, illetve az ezt tartalmazó szimulációs modell kialakítása után kísérleteink alapján sikeresen alkalmazható a genetikus algoritmus, amelynek fő erősségét robusztussága adja, ezért szinte az összes ilyen típusú összetett optimumkeresési feladat megoldására kiválóan alkalmas lehet. A futási idő radikális csökkentésére a többprocesszoros és az elosztott rendszerek adhatnak segítséget. A módszertan tesztelése során több olyan készletezési problémát vizsgáltunk, amelyek esetében a fent ismertetett problémák mindegyike észlelhető, a sztochasztikus befolyásoló tényezők száma magas, statisztikájuk adott, viszont a rendszer- és folyamatmodell viszonylag egyszerűen leképezhető. A rendelésütemezés szempontjából meghatározott beavatkozó paraméterek optimális beállítási értékének felkutatására egy párhuzamos genetikus algoritmust teszteltünk, egy multiprocesszoros rendszerben. A modellezett rendszer működésének vizsgálatára szimulátort fejlesztettünk. A szimulátor többszöri futtatásának segítségével vizsgálható a készletezési rendszer működése, továbbá (többek között) meghatározható a készletezési rendszer működésének hatékonyságát jellemző összköltség típusú multikritériumos célfüggvény várható értéke is. Az ilyen módon felépített szimulátort „összekötöttük” a már fentebb ismertetett optimumkeresési technikát tartalmazó optimalizátorral, amely a paraméterkeresést irányítja. Ez egy olyan korszerű optimumkeresési technika, melyet szimulációval támogatott optimumkeresésnek nevezünk (5. ábra).



5. ábra: A szimulációval támogatott optimumkeresés

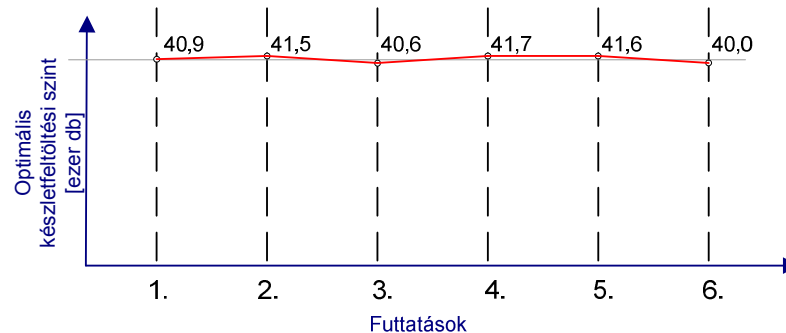
A szimulációs modell és az optimum kereső algoritmus irányított együttműködésével (iterációval) generálható tehát a feltételezett optimális rendszerműködéshez rendelt beavatkozó paraméter-lista. Minden egyes iterációs lépésben a szimulátor meghatározott számú futtatásával állítható elő a multikritériumos célfüggvény várható értéke.



6. ábra: A gyűrűs migrációs modell

Az optimalizátor irányítja az iterációt, melynek során feladata megtalálni a keresési térben azt a pontot, ahol a célfüggvénynek globális szélsőértéke, esetünkben minimuma van. Ezt egy genetikai sziget modell alapján valósítottuk meg úgy, hogy minden egyes programszál egy szigetet reprezentál. A szigetek gyűrűbe vannak kapcsolva és az n -edik sziget mindig az $n+1$ -edik szigetnek adja át a legjobb egyedét (6. ábra). A migráció 100 generációnként történik utat engedve ezzel az egyes szigetek eltérő fejlődésének és csökkentve ez által a programszálak kommunikációjából adódó teljesítmény veszteséget. A szigetek az egyes számítási egységeken (CPU-k) egymástól függetlenül futnak, természetesen eltérő és véletlenszerű keresztezési és mutációs rátával, ezáltal is biztosítva a genetikai változatosságot. A program végrehajtása (a migrációt kivéve) szekvenciális módon történik, és hagyományosan az inicializálással kezdődik. Az inicializálás a kezdeti populáció véletlenszerű feltöltését jelenti, amelynek az egyedei kezdeti megoldás változatokat jelentenek. Ezeket a

megoldásváltozatokon történik a célfüggvény számítás, amelynek értéke az előzőekben bemutatott szimulációs úton kerül meghatározásra. Ezután a folyamatos javítás addig folytatódik, amíg a kilépési feltétel nem teljesül, ami ebben a megvalósításban egy adott (tapasztalati úton beállított) maximális generációszám lesz. Az utolsó iterációs lépésben létrejött legnagyobb fitnessz értékű (legéletképesebb) egyed lesz az algoritmus által szolgáltatott optimális megoldás. A valós adatokkal való futtatásokat elemezve látszik, hogy a végeredmények relatív szórása a vizsgált esetekben igen kicsi (7. ábra).



7. ábra: A futtatás eredményei

Összefoglalás

Napjainkban a logisztikai rendszerek egyre nagyobbá és összetettebbé válnak, hatékony működtetésük egyre nehezebb feladat, ezért elengedhetetlen a hatékonyság növelésének matematikai úton történő támogatása. Ez (egyfajta megközelítésben) a logisztika legkülönbözőbb területein való optimalizáló eljárások használatát jelenti. Ilyenek lehetnek a mikro- illetve a makrologisztika területén adódó optimalizálási feladatok, vagy a tervezés illetve az üzemeltetés területén jelentkező optimumkeresési feladatok.

A logisztikai optimumkeresési feladatok nagy többsége az úgynevezett makacs problémák (NP-típusú) csoportjába tartozik, tehát egy determinisztikus algoritmussal csak exponenciálisan vagy még hosszabb idő alatt oldhatók meg. Megoldásukra – a korábban ismertetett evolúción alapuló genetikusan algoritmusok klasszikus alkalmazásán kívül – nagy teljesítményű elosztott rendszereket, azaz masszívan párhuzamos számítógépeket (MPP), cluster és a grid rendszereket is igénybe lehet venni. Elképzelhető tehát, hogy mekkora erőt képviselhet, ha ezt a két eszközt egyesítjük. Az ilyen számítógép rendszerek erőssége a párhuzamosításban rejlik, ezért kihasználásukhoz a meglévő szekvenciális módszereinket párhuzamosítani kell. Ezt általában könnyen meg lehet valósítani, hiszen léteznek olyan eljárások, amelyek implicit párhuzamosságot rejtenek magukban (pl. a bemutatott szigetmodell elven működő genetikusan algoritmusok). Feltételezhető tehát, hogy a korszerű algoritmusok és az egyre jobban előtérbe kerülő elosztott rendszerek alkalmazásával a logisztikai költségek csökkenthetőek, talán még a rugalmasság megtartása és a szolgáltatási színvonal növelése mellett is.