

Karajz Sándor

Egy sajátos környezet-gazdaságtani modell

Bevezetés

A szakirodalomban előforduló hagyományos elméletek, amelyek a szennyezési és allokációs problémák magyarázatára és megoldására irányulnak, túlnyomó része a neoklasszikus közgazdaságtan metodológiáját követi. Ismeretes, hogy a neoklasszikus közgazdaságtani megközelítés a 19. század vége felé alakult ki, és alapvető sajátossága szemben a klasszikus irányzattal a matematikai formalizáltság. A neoklasszikus közgazdaságtan követői a klasszikus fizikára támaszkodva, elvont elméleteket alkottak a gazdasági jelenségek magyarázatára. Ezek feltételezései szerint a gazdasági alany olyan haszon- és nyereségmaximalizáló individuumnaként cselekszik, aki a gazdasági folyamatokról tökéletesen informált. A gazdasági tevékenységek egyedüli koordinációs intézménye a fekete dobozként viselkedő piac, amely „súrlódásmentesen”, pótlólagos (tranzakciós) költségek nélkül működik.

A közgazdászok által ma gyakran emlegetett és sürgetett paradigmaváltás természetesen a környezet-gazdaságtant is érinti. Bár a paradigmaváltás szükségességének megfogalmazása merész tett, egy új paradigma létrehozása, elfogadtatása és elterjesztése igen nehéz feladat.

Először is a környezeti problémák összetettsége, gazdasági, szociális, kulturális és más vonatkozásai miatt, az új közgazdasági illetve környezetgazdasági paradigma megszületéséhez új dialektikus szemléletmódra, úgynevezett transzdiszciplináris elemzésre van szükség. A transzdiszciplináris elemzés olyan párbeszédet jelent a különböző tudományágak között, melynek alapja a módszertani pluralizmus. Lényegében ennek a folyamatnak a része a közgazdaságtan és a biológia közötti kapcsolatok kialakulása.

A biológiai és a gazdasági evolúció párhuzamba állításával lehetőség nyílik arra, hogy a gazdaságban lezajló dinamikus, tehát időben változó folyamatok leírásához segítségül hívjuk a genetikai algoritmusokat. A biológiai és gazdasági folyamatok analógiakeresésének első lépése a két diszciplínában felmerülő fogalmak párhuzamba állítása, és az analógizálhatóság fokának meghatározása volt. Ez alapján megállapítottuk, hogy a legtöbb biológiai fogalom átültethető gazdasági, társadalmi környezetbe, ami a sikeres modellezés alapfeltétele.

A közgazdasági szakirodalomban az 1990-es évektől kezdve jelentek meg olyan publikációk, amelyek a gazdasági folyamatok leírásában a genetikai algoritmusok alkalmazását, és alkalmasságát tesztelték, kutatták (Arifovic 1998, Dawid 1997, Brenner 1998, Birchenhall 1997, Lawrenz 1999, Riechmann 1999).

A tanulmány alapvető céljának megfelelően - ami egy környezeti szempontból érzékeny¹ vállalat, illetve vállalatcsoport környezetorientált működésének hatékony modellezése – szükséges a vállalat, illetve a vállalatok piacát befolyásoló tényezők meghatározása és elemzése. Meg kell ismernünk azt a külső és belső kapcsolatrendszer, amely a környezetreleváns vállalati magatartást meghatározza és behatárolja. Ahhoz, hogy genetikai algoritmust használhassuk az említett vállalat, illetve piac modellezéséhez, konkrétan meg kell neveznünk azokat a speciális tényezőket, amelyek az algoritmus elemeit és operátorait befolyásolják és meghatározzák.

¹ Ebben az esetben környezeti szempontból érzékeny vállalat, illetve vállalatcsoport alatt az erősen környezetterhelő termelést folytató vállalatot, illetve vállalatokat értjük.

A genetikus algoritmusokkal támogatott integrált környezet-gazdaságtani modell

A genetikus algoritmus eredeti formájában egy „gondolkodás” nélküli kereső folyamat. Ezért a gazdasági szereplők döntési és tanulási folyamatainak modellezése esetén vigyázni kell, nehogy hibát kövessünk el. A biológiai evolúció kétségkívül nem identikus a technológiák és stratégiák fejlődésével, evolúciójával. Kérdés, hogy a biológiából „elfigyelt” evolúciós folyamat, ami nem előre meghatározott fejlődési útvonalon halad¹, alkalmas-e a gazdasági evolúciós folyamatok leírására, ami célzott változásokon² alapul. Tisztázni kell, hogy a genetikus algoritmus operátorai és folyamatai a gazdasági rendszerekben, mely tényezőknek felelnek meg.

Vállalatok nem szaporodnak, csak növekednek. Egyedek, amelyek gazdaságilag nem sikeresek „nem hallnak ki rögtön, és nem csökken az esélyük a szaporodásra”. A gazdasági sikereket ennek megfelelően nem szabad biológiai fitnesskritériumok segítségével magyarázni. Értelemszerűen a genetikus algoritmusok közgazdasági területeken nem a biológiai túlélés, hanem a gazdasági „túlélés” és „szaporodás” modelljeként alkalmazhatóak. A „szaporodás” alatt vagy egy szereplő piaci részesedésének növekedését, vagy stratégiájának - mások által történő - átvételét értjük. Ezek alapján az egyed olyan értelmezése is definiálható, amely alatt az első lépésben nem a vállalat, hanem annak piaci részesedése érendő, a másodikban pedig a gyártási tervek, stratégiák, vagy technológiák, amelyek elterjednek illetve továbbfejlődnek.

A környezetorientált piaci modellezés sikeressége alapvetően függ a befolyásoló tényezők pontos és megfelelő súlyú meghatározásától. Ezeket a tényezőket jól behatárolhatjuk, ha megvizsgáljuk a vállalat stakeholdereit, és kiemeljük azokat, amelyek az aktuális kérdésben meghatározó jelentőségűek.

A vállalat viselkedését, amit alapvetően a vállalati menedzsment alakít ki, a következő külső tényezők befolyásolják:

- versenytársak,
- állami beavatkozás, ami a szabályozóeszközökben nyilvánul meg,
- az értékesítési piac szereplői, a fogyasztók,
- a termelési tényezők piaca, vagyis a beszállítók.

A kibocsátott szennyezőanyag mennyiségének modellezéséhez elemeznünk kell a felsorolt mikrokörnyezeti tényezőket. Ugyanis ezek közösen határozzák meg azt, hogy a vállalat milyen érzékenységet mutat környezeti kérdésekben. Valamint vizsgálnunk kell a vállalati környezetmenedzsmentet, amelyben ténylegesen megnyilvánul az említett környezeti érzékenység, vagyis a vállalat magatartása. Ez a magatartás elsősorban a vállalati környezetorientált stratégiákban jelenik meg.

A modell felépítése

A környezetorientált elemzésekre két szinten nyílik lehetőség: vállalati, illetve ágazati szinten. Természetesen mindkét esetben alapvető cél a környezetterhelés mértékének - adott körülmények közötti - hatékony modellezése. A genetikus algoritmusokkal történő modellezésnél a genetikus műveletek (szelekció, rekombináció, mutáció) egy és több vállalatra egyaránt alkalmazhatóak.

A vállalati szintű elemzés egypopulációs, a magasabb szinten történő pedig többpopulációs modell felállítását feltételezi. Az egypopulációs modell esetében a genetikus algoritmus egyedeit, az adott pillanatban állandó, de folyamatosan változó mikro- és makrokörnyezet

¹ A biológiai evolúció során alapjában véve a mutáció és a rekombináció véletlenszerűsége okozza az előre meg nem határozott fejlődési útvonalat.

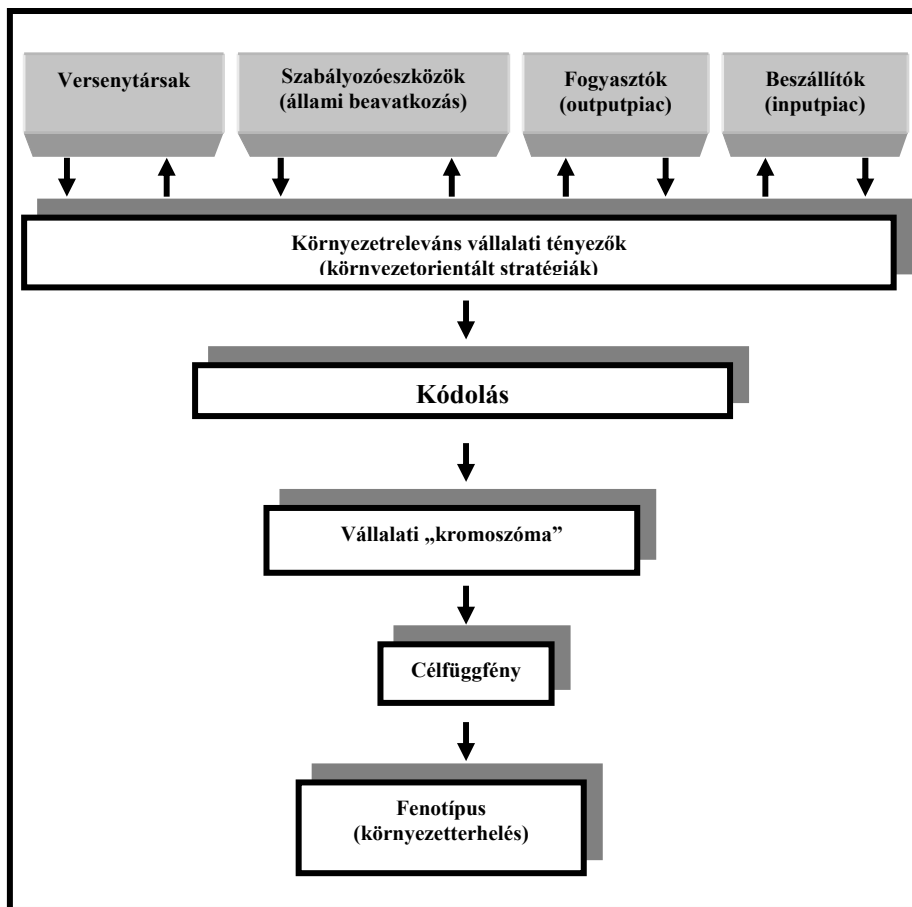
² A gazdasági folyamatok során az újítások a legtöbb esetben a bevezetés előtt különböző módszerek segítségével előre teszteltek, „kipróbáltak”.

mellett megvalósítható környezetorientált vállalati magatartási lehetőségek, stratégiák jelentik. A teljes populációt ezek összessége alkotja. A többpopulációs modellben két párhuzamosan futó genetikai algoritmust kell elképzelnünk. Az elsőben a vállalati szinten alkalmazott algoritmus alapján a vizsgált vállalatoknál egyenként meghatározásra kerülnek a használt környezetorientált stratégiák és a hozzájuk tartozó környezetterhelések. Ezek a stratégiák a magasabb szinten futó algoritmus kiindulási populációját alkotják. Az adott algoritmusnak a segítségével határozható meg az összes vállalat által kibocsátott szennyezés mértéke.

A következő pontban a kiindulási populáció meghatározásának modelljét fogjuk megismerni.

A kiindulási populáció meghatározása

A kiindulási populáció meghatározásának alapja az összes releváns vállalati „viselkedésmód” feltérképezése. Ezeknek a körét a vállalati működés belső és külső tényezői határozzák meg. A belső tényezők közé sorolhatjuk többek között a meglévő és potenciális termelési technológiákat, valamint a rendelkezésre álló humán és reáltoke nagyságát. Külső tényezők a már korábban említettek. Az 1. ábra mutatja be ezt a kapcsolatrendszert.



1. ábra: A kiindulási populáció meghatározása

Forrás: Karajz (2003:86)

Azt feltételezzük, hogy a vállalat tudja befolyásolni a környezetét, ezért elfogadott az ábrán vázolt kétirányú kapcsolatrendszer a környezeti tényezők és a vállalat között. Ez alapvetően

befolyásolja a szóba jöhető környezetorientált stratégiák, vagyis az algoritmus egyedeinek körét.³ A környezetorientált vállalati tényezők meghatározása után a genetikus algoritmus lefuttatásához szükséges a stratégiai elemek formalizálása, más néven kódolása. Ennek végeredményeképpen kialakul az úgynevezett vállalati „kromoszóma”, amely a stratégiaelemeket már, a genetikus algoritmus matematikai módszereihez igazodva, megfelelő formában tartalmazza. A modellezés elején jellemeznünk kell a kiindulási környezetreleváns stratégiákat. Ezt a célfüggvény segítségével végezhetjük el, ami a mi esetünkben a stratégiához hozzárendeli a környezetterhelés mértékét, a genetikus algoritmus terminológiájával élve, meghatározza a genotípus fenotípusát. Ezek után végezhetjük el ténylegesen a genetikus folyamatokra épülő algoritmusokat.

A környezetreleváns vállalati stratégiák

A modellünkben meghatározott külső tényezők bemutatása után rátérhetünk arra, ezek hatására milyen formában jelenik meg a környezetorientált vállalati magatartás. Abból indulunk ki, hogy a környezetterhelést, -szennyezést alapvetően az éppen aktuális termelési technológia határozza meg. *Modellünk pontosságát* alapvetően meghatározza a technológia összetételének teljeskörű feltérképezése és használata. A vállalati viselkedés (technológiahasználat) alapvetően a vállalati stratégiában tükröződik. Ezért fontos az alapvető bázisstratégiák meghatározása és megismerése.

A környezetorientált bázisstratégiák behatárolásához a különböző csoportosítási jegyeket kell először meghatározni, amelyek alapján a bázisstratégiák osztályozhatók. A legfontosabb jegyek a következők (Meffert 1992:141):

- ökoorientált alkalmazkodási intenzitás,
- a környezeti stratégiák cselekvési síkjá, iránya,
- a stratégiafejlesztés és a stratégiai intézkedések végrehajtásának időpontja,
- a stratégiafejlesztés fajtája,
- a stratégia érvényesítésének formája.

Ha megpróbáljuk az ismertetett stratégiai ismérvek integrált vizsgálatának segítségével a bázisstratégiák aránylag széles választékát meghatározni, akkor a következő környezetorientált alapstratégiákat különböztethetjük meg (Meffert 1992:145-147):

- ellenálló stratégia,
- passzív stratégia,
- visszahúzó stratégia,
- alkalmazkodó stratégia,
- innovációs stratégia.

Az ellenálló stratégiák az ökoorientált alkalmazkodási intenzitás szerint passzívak, mialatt a társadalmi és piaci környezetvédelmi követelményekkel szembeállnak az egyensúly megtartása érdekében. Rendszerint az ellenálló stratégiák gyakorlati reakciók az éppen kifejezett környezetvédelmi követelményekre, például polgári kezdeményezésekre. Egy szigorító környezetvédelmi törvénnyel szemben akkor lehetnek hatékonyak, ha azelőtt kerülnek bevezetésre, amikor a konkrét környezeti törvények változtatása várható, hogy ezáltal a megkövetelt környezetvédelmi normák alacsonyabb szintjét elérhessék.

Általában védekezésre használják, mint „politikai stratégiát” a társadalmi környezetvédelmi igények ellen, kollektíven más érintett vállalatokkal együtt. Rendszerint az ellenálló stratégiák

³ A mai modern gazdaságban a társadalmi polgári kezdeményezések, érdekvédelmi, környezetvédő szervezetek egyre nagyobb nyomást gyakorolnak a környezetet erősen terhelő vállalatok környezetvédelmi tevékenységére, ami a választott stratégiájukat is befolyásolja.

olyan ökológiai célok elérésére szolgálnak, amelyek a környezetterhelés csökkentése és elkerülése ellen irányulnak, ezért hosszú távon a vállalat társadalmi legitimitását veszélyeztetik.

Az ellenálló stratégiákkal szemben a passzivitás lényegében „nem-magatartás”, amely a környezeti problémák figyelmen kívül hagyásával jellemezhető. Az aktív ellenálló stratégiával szemben a vállalat legitimitását nem veszélyezteti annyira, mivel a társadalmi környezet számára, az ökológiai követelések ellen nem nyíltan lép fel. A vállalat a stratégiai alternatívák keretében nem lát megfelelő alkalmazkodási lehetőséget a meglévő környezeti problémához, ezért inkább megpróbálja magát kivonni az erősödő környezetvédelmi igények alól.

A visszahúzó, mint üzemi szintű stratégia értelmezhető. Például a vállalat a környezetterhelő vállalati funkciókat (gyártás, újrahasonosítás) külföldre helyezi át, ezáltal éri el a környezeti előírások által megengedett szennyezési szintet. Valójában nem történik környezetterhelés-csökkentés, csupán területi áthelyezése valósul meg. A környezetvédelmi csoportok erősödő nemzetközi fellépése az ilyen stratégiát folytató vállalat legitimitását veszélyezteti.

Az ökoorientált alkalmazkodó stratégia esetében a törvényi előírásokkal kapcsolatos vállalati reakciók környezetvédelmi követelményeket is figyelembe vesznek. Mindazonáltal csupán eleget tesznek a környezetvédelmi követeléseknek anélkül, hogy a környezetvédelem esélyeit innovatív módon segítenék. A külső kényszerből adódó alkalmazkodás az aktuális környezeti probléma megoldására az egyes vállalati területeken mindenkor izoláltan és reaktív módon valósul meg. Az alkalmazkodó stratégia lehet egyéni vállalati stratégia, de akár egy egész ágazat magatartását is jellemezheti.

Ezzel ellentétben az innovációs bázisstratégia magába foglalja, hogy a vállalat a társadalmi és piaci környezetvédelmi követelésektől függetlenül, behatárolja az ökológiai problémákat és egy minden vállalati területre kiterjedő innovatív stratégiát alkalmaz.

A kódolás

A modellben a következő fontos lépés a különböző típusú és mértékegységű stratégiai és technológiai tényezők egységesítése, vagyis a kódolás. A genetikus algoritmusok alapvető tulajdonsága, hogy a populáció egyedeinek tulajdonságait, illetve kromoszómáit általában bináris módon, bináris vektorokban tárolják⁴. A hagyományos jelöléssel egy vektort, vagyis kromoszómát a következőképpen adjuk meg: $x = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$. Általában a kromoszóma egyedülálló elemét nevezzük génnek, de előfordul, hogy adott hosszúságú kromoszómához szükséges egy adott tulajdonság kódolására. Például az $x = \langle 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1 \rangle$ egy kromoszóma, ahol a második, az ötödik és a hatodik gén alléja (értéke) 0, a többinek 1, egy másik kromoszóma $y = \langle \langle 0, 1, 1 \rangle, 0 \rangle$ két génből áll. Az első gén alléja $\langle 0, 1, 1 \rangle$, a másiké 0.

A kódolás két típusát használják: a hagyományos és a Gray-kódolást. A kódolásnál figyelembe kell venni a különböző mértékegységek szinkronba hozatalát. Ha az elemzésünkhöz, illetve a cél- vagy/és fitnessfüggvényünkhöz csak egy adott tényező megléte, vagy nemléte szükséges inputként, akkor egyszerűen az igen/nem, vagyis bináris kódolásban a 1/0 szükséges. Ha viszont egy kvantitatív értéket kell kódolnunk, akkor választhatjuk a hagyományos, vagy a Gray-kódot.

A bináris kódolásnak természetesen vannak előnyei és hátrányai. Előnye, hogy a mai adatfeldolgozó eszközök általában ezt támogatják, valamint nagyszámú populációk esetében az egyedek jellemzői tömör, egységes formában dolgozhatók fel. Hátránya, hogy a kódolt tényezők súlya függ a kromoszómában elfoglalt pozíciótól (a kód elején álló pozíciók súlya nagyobb, mint a hátrébb találhatóké).

⁴ A bináris kódokon kívül egyszerűen használhatunk egész számokat, lebegőpontos számokat, vagy többdimenziós kromoszómát is.

A hagyományos bináris kódolás egyes hátrányait kiküszöbölni próbáló speciális kódolási módszer az említett Gray-kódolás.

A kódok összehasonlítására a Hamming-eltérést (D) használjuk. Ez a mérőszám azt mutatja meg, hány számjegyet kell invertálnunk ahhoz, hogy az egyik bináris kódból megkapjuk a másikat. Láthatjuk az ábrából, hogy ez az érték a Gray-kód esetén egyenletes, viszont a hagyományos bináris kód esetén lépésről lépésre változik. Nézzünk meg egy egyszerű példát:

Legyen a decimálszám=105, a kódolás után a 4. helyen mutáció:

hagyományos bináris kód: 1101001 \Rightarrow 1100001 (visszakódolva = 97, eltérés 8);

Gray-kód: 1011101 \Rightarrow 1010101 (visszakódolva = 102, eltérés 3).

Láthatjuk, hogy a mutáció a Gray-kód esetén kisebb eltéréshez vezetett. Meg kell jegyeznünk, hogy ez az esetek nagyrésztében valóban így adódik, de van olyan decimálszám, amelynél a Gray-kód esetén nagyobb az eltérés.

A két kódolás közötti különbség közgazdasági jelentősége alapvetően a mutáció miatt válik lényegessé. A Gray-kód esetén egy mutáció általában kisebb jelentőséggel bír, mint a hagyományos kódolás esetén. Ez azt jelenti, hogy a véletlenszerű mutáció (például mások stratégiájának hibás imitálása, vagy nem tökéletes informáltság) esetén kisebb a torzítás, viszont irányított mutáció (tudatos technológiaváltás) esetén lehet, hogy nem hozza meg a várt eredményt. Előnye és hátránya is lehet a Gray-kódolásnak. A legpontosabban akkor működik a kódolás, ha tényezőnként választjuk meg a módszert. Általában, de ebből kifolyólag is fontos a génhatárok pontos ismerete, behatárolása. Pontosan tudnunk kell egy adott gén (egy tényezőért felelős bitsoport) pozícióját, mert ellenkező esetben a célfüggvénybe való behelyettesítésénél teljesen rossz végeredményhez jutunk.

Ha az összes lehetséges stratégiavariációt bekódoltuk, akkor megkapjuk a lehetséges vállalati stratégiák kódolt formáit, a kromoszómákat, melyek már egységesen szelektálhatók, rekombinálhatók és mutálhatók.

A célfüggvény

A kiindulási populáció meghatározásának következő lépésénél a lehetséges stratégiavariációkat értékeljük, vagyis, megvizsgáljuk, mekkora szennyezést jelentenek a különböző stratégiai lehetőségek. Ezt a célfüggvény segítségével tehetjük meg. Modellünkben a célfüggvény az összetett környezetreleváns vállalati stratégiaelemek alapján meghatároz egy szennyezési szintet, amely a genetikus algoritmusok terminológiáját használva a genotípus fenotípusát jelenti.

A modellben szükséges a cél- és a fitnessfüggvény különválasztása, mert a genetikus algoritmusok esetében különbséget tehetünk, illetve kell tennünk, az egyed szaporodási esélye és sikeressége között. A genetikus algoritmusok célfüggvénye adott egyed sikerességét méri az optimalizálandó cél tekintetében, míg a fitnessfüggvény az egyed szaporodási esélyeit értékeli.⁵ Az egyszerű genetikus algoritmus modellekben általában a két tényezőt azonosnak tekintik, vagy azt feltételezik, hogy egy kromoszóma sikeressége és szaporodási esélye között egyenes arányosság van. Azonban az optimalizálási feladattól is függ, hogy valóban az optimumnak leginkább megfelelő egyednek van-e a legnagyobb esélye a replikációra is. Az, hogy milyen alakú a genetikus algoritmus cél és fitnessfüggvénye, teljesen a megoldandó problémától függ, tehát természetesen nem létezik általános szabály, amely azt előre meghatározná.

Biztosan hibáznánk, ha a mi szituációnkban azt feltételeznénk a modellezni kívánt vállalatról, hogy egyedüli, alapvető célja, a környezetterhelés csökkentése. Ezt elméletileg csak

⁵ Modellünkben a célunk - amit a célfüggvénynek reprezentálnia kell - a környezetterhelés meghatározása, illetve csökkentése. A vállalat mozgatórugója azonban az összetett vállalati célrendszer, amit a fitnessfüggvény reprezentál.

akkor fogadhatnánk el egyedüli célként, ha a vállalati célrendszer többi eleme alapvetően nem szenvedne hátrányt emiatt. Konkrétan, ha a versenyképesség, hosszútávú nyereségmaximalizálás, termelékenység, stb. nem csorbulna, vagyis ezek állandósága mellett tudnánk a szennyezés mértékét csökkenteni. Ez a külső körülmények változása nélkül ritkán képzelhető el. Természetesen ez a feltétel nagymértékben behatárolná a szóba jöhető stratégiák körét is. Magát a szennyezést több stratégiai tényező is befolyásolja, ezért az egyetlen célt megfogalmazó függvényünk több tényezőt (a stratégia aktuális elemeit) kell, hogy inputként kezeljen.

Összefoglalva tehát, elmondható, hogy a releváns modellben meg kell különböztetni a cél- és fitnessfüggvényt. Ennek oka, hogy a valóságban a vállalat nem egy domináns cél alapján hozza döntéseit, hanem egy összetett célrendszerrel rendelkezik. Továbbá a vállalattal – a piacon és piacon kívül - kapcsolatban állók a környezetterhelés csökkentését általában automatikusan nem honorálják, aminek következtében a vállalati célrendszerben a környezetvédelem nem foglal el központi helyet. Ezért szétválik a vállalati stratégia – célfüggvény alapján meghatározott - sikeressége és életképessége.

Az alapmodell kiválasztása

A genetikai folyamatok futtatása előtt – alapvetően a kiválasztás és a szelekció miatt - el kell döntenünk, melyik genetikai algoritmus modellt választjuk. Tehát meg kell határoznunk, hogy egy szelekciós lépéssel az összes szülőt lecseréljük új utóddal (kanonikus genetikai algoritmus), vagy csak néhányat (steady-state genetikai algoritmus). A döntést az aktuális optimalizálási probléma megismerése alapján tudjuk meghozni. Természetesen mindkét módszernek megvan az előnye és hátránya:

- Ha az összes szülőt kicseréljük, potenciálisan bekövetkezhet, hogy a populáció legjobb egyede elvész. Viszont ez a típusú algoritmus sohasem kerül abba a helyzetbe, hogy csak néhány jó egyed koncentrálódik a populációban (csökken a populáció diverzitása), ezáltal leszűkül az optimalizálási szempontból átvizsgálható tér, vagyis a rendszer egy lokális optimumban marad, és képtelen belőle elmozdulni.
- Ha nem történik meg a szülők teljes körű cseréje, akkor éppen fordítva alakulhat a helyzet. A populáció erősen konvergál az optimumhoz, mivel egynéhány egyed sokkal sikeresebb a többinél, és így az esetlegesen jobb állapotot sohasem éri el a populáció. Ellenben a legjobb egyed nemvész el, így a populáció átlagos minősége nem csökken.

A steady-state genetikai algoritmus esetében a generációváltás egyszerűbb, mert csak néhány egyed – általában az alacsony fitnessértékekkel rendelkezők – cserélődnek, ami természetesen azt az előnyt rejti magában, hogy a sikeres egyedek (jó megoldások) tendenciálisan hosszabb ideig a populációban maradnak. Ez a cserefolyamat hasonlóan zajlik, mint a kanonikus genetikai algoritmusnál: az utódok létrehozásához véletlenszerűen kiválasztásra kerül szülőnek két egyed a populációból. Ezután másolat készül róluk, majd ezek rekombinálódnak. Majd sor kerül a mutációra és az újonnan kialakult egyedek a célfüggvény segítségével értékelésre kerülnek. Amennyiben két azonos értékű egyed keletkezik, akkor az egyiket elimináljuk a populációból. Ezt a speciális szelekciós folyamatot addig ismétljük meg, ameddig q mennyiségű utódot nem alkottunk. Ekkor q mennyiségű korábbi egyedet – a legtöbbet az alacsony fitnessértékűek közül – lecserélünk új egyedekkel (Álmos és mtsai 2002:101).

A steady-state genetikai algoritmus esetén nagyobb lehet a mutáció és a rekombináció aránya, mivel éppen az előbb említett generációváltó stratégia által a sikeres egyedek védve vannak a populációban. Ezáltal az algoritmus erőteljesebben optimalizáló jelleggel rendelkezik. A steady-state genetikai algoritmus nem alkalmas viszont olyan optimalizálási problémák megoldásánál, ahol sztochasztikus módon kerülnek kiértékelésre az egyedek, mert fennáll a

veszélye annak, hogy a rosszabb egyedek - éppen a sztochasztikus befolyás miatt - az értékeléskor véletlenszerűen relatívan magas fitnessértékeket kapnak. Ezek a tulajdonképpen „rossz” egyedek, a szelekciós stratégia miatt, jogtalanul, hosszabb ideig a populációban maradnak.

A kanonikus genetikus algoritmust modellünkben akkor érdemes használni, ha a szennyezés nagymértékben nem veszélyes és célunk a lassú, de hosszútávú szennyezéscsökkentés. Ellenkező esetben, ha a modellezett vállalat veszélyes hulladékot termel, amit gyorsan és nagymértékben szeretnénk csökkenteni, akkor a steady-state genetikus algoritmust érdemes használnunk. Az is fontos kérdés lehet a modellünkben, ha a második variációt választjuk, hogy hány darab szülői kromoszómát szüntessünk meg (legrosszabb n darab törlése). A darabszámot az előbb említett célok határozzák meg. Minél veszélyesebb és több hulladék keletkezik, annál kevesebb kromoszómát kell eliminálnunk.

A genetikus algoritmusok, így modellünk sikeréhez is fontos, hogy a populáció egyedeit sokáig jellemezze a diverzitás, ami a rekombináció, és a változó viszonyokhoz való alkalmazkodás hatékonyságát nagymértékben meghatározza. Ezt a heterogenitást, változatosságot a genetikus algoritmus technikák is támogatják, méghozzá úgy, hogy a természetes ökológiai rendszerekben megtalálható, az együttélési kapcsolatokból származó genetikai eltéréseket különböző eljárásokkal fenntartják.

Az úgynevezett crowding-operátor alapötlete az, hogy egy egyedet mindig a hozzá leginkább hasonlóval helyettesítjük. Ezzel a technikával meg lehet akadályozni, hogy a populáció túl homogénné váljon. Az algoritmus folyamata a következő: minden egyed a replikációra kijelölt állományba kerül, ahonnan véletlenszerűen kiválasztunk két szülőt. Ezután következik a már megismert hagyományos rekombináció és mutáció, majd az utódok fitnessértéke kerül meghatározásra. Minden szülő a hozzá leginkább hasonlító utódjával képez egy párt, és a pár azon tagja kerül a következő populációba, amelynek nagyobb a fitnessértéke. Ennek a módszernek fontos kérdése a hasonlóság mérése. A hasonlóságot a genotípus és a fenotípus szerint is megállapíthatjuk.⁶

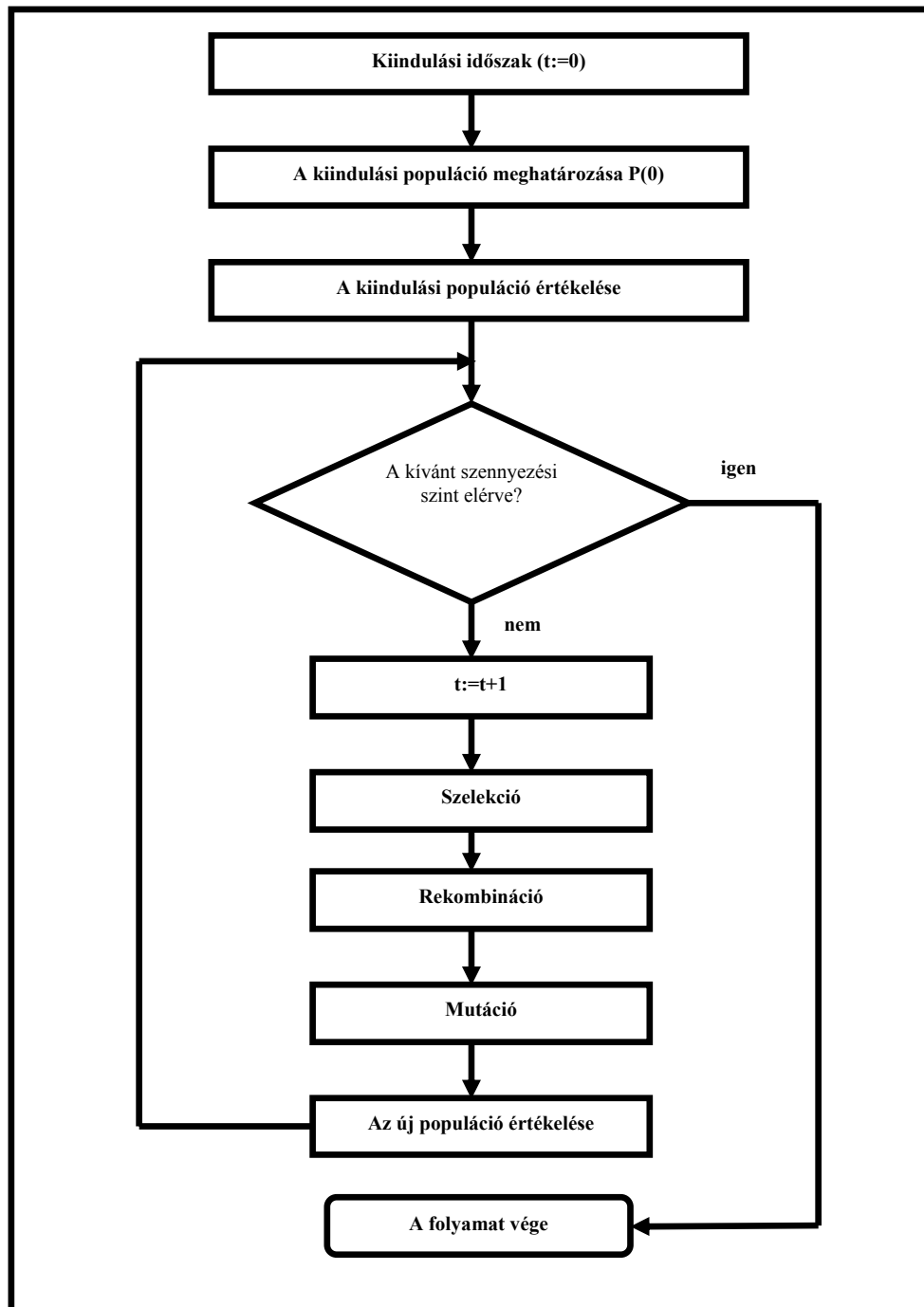
Genetikus műveletek a modellben

A 2. ábrán láthatjuk az elképzelt genetikus algoritmus modellt. Alapjában véve a modell a már megismert operátorok (szelekció, rekombináció, mutáció) alapján működik.

Korábban bemutattuk a kiindulási populáció meghatározásának lépéseit. Az algoritmus célja – adott körülmények között – a vállalat szennyezésének minimalizálása. A szennyezés mértékét generációról generációra (új stratégiai lehetőség megjelenése esetén) meg kell határozni a célfüggvény segítségével. (Ezt a lépést a folyamatábrán a kiindulási populáció értékelése jelenti.) Ha az elvárt szennyezési szintet nem értük el, akkor következnek a genetikus műveletek.

Az új generáció egyedei a genetikus algoritmus folyamata során alakulnak ki. Első lépés a szelekció, ahol a stratégiák a rátermettségük alapján kerülnek kiválasztásra. A stratégiák (egyedek) „fennmaradásának” esélyét a rátermettségük mértéke határozza. Ez a rátermettség a fitnessfüggvény segítségével határozható meg.

⁶ A genotípusok közötti mérésre a Hamming-féle eltérés alkalmas, a fenotípusok hasonlóságának összehasonlítására pedig a jól ismert euklidészi távolság a megfelelő.



2. ábra: A környezetorientált piaci modellezés genetikus algoritmus segítségével
Forrás: Karajz (2003:104)

A fitnessfüggvény meghatározásakor az összetett vállalati célrendszer összes elemét figyelembe kell venni. A kiválasztott stratégiák képezik az új variációk alapját. Az új stratégiák a rekombináció folyamán keletkeznek. Ezután a véletlenszerű, vagy tudatos mutáció során (korábban említettük, hogy mindkettő előfordulhat a vállalati működésben) kialakulnak a végleges stratégiavariációk. A valóság-hű modellezéshez célszerű ezeket a variációkat megvizsgálni abból a szempontból, hogy az adott körülmények között valóban reálisak, vagyis megvalósíthatóak. Elképzelhető, hogy a rekombináció és a mutáció során kialakulnak olyan stratégiai lehetőségek, amelyek irreálisak, ezeket eliminálni kell a további folyamatból.

Majd következik újra a stratégiák értékelése a célfüggvény segítségével. Ha a kívánt szennyezési szintet elértük, akkor vége a folyamatnak, ellenkező esetben folytatódik az iteráció addig, ameddig rendszerünk meg nem felel a megszakítási feltételnek.

A hatékony modellalkotás alapfeltétele, hogy részletesen megismerjük a szelekció, rekombináció és mutáció folyamatait, fajtáit. A lehetséges algoritmustípusokból ki kell választani azokat, amelyek a modell sajátosságait figyelembe véve a legalkalmasabbak.

Nissen (1997) és *Schöneburg (1994)* segítségével ismerkedünk meg a folyamatokkal, valamint a különböző funkciókkal és tényezőkkel. Tanulmányozzuk, hogy a korábban megismert egyszerű algoritmusok mellett milyen egyéb variációk léteznek, valamint megvizsgáljuk, hogyan lehet a modellt mellékfeltételekkel kiegészíteni, illetve többváltozós fitnessfüggvény használatával értelmezni.

A fitnessfüggvény

Mint korábban meghatároztuk - a vállalati célrendszerben a környezetvédelmi célok alárendelt szerepe miatt - nekünk is külön kell választani és külön, egymástól függetlenül kell meghatározni a cél- és fitnessfüggvényt. Modellünk célja a szennyezési szint meghatározása, ezért - mint korábban láttuk - a célfüggvény a megvalósítható stratégiákhoz rendeli hozzá a kibocsátott szennyező anyagok mennyiségét. A megvalósítható vállalati stratégiák sikeressége nem csak a környezetbarát jellegtől függ, sőt általában ez a jelleg nem dominál a stratégiák preferálásakor. A stratégiaválasztást, úgy, mint a vállalati döntések egyik elemét, egy többtényezős vállalati célrendszer határozza meg. Ennek ismeretében modellünkben a stratégiák túlélési esélyét reprezentáló fitnessfüggvény(ek) megalkotásánál az előbb említetteket kell figyelembe venni.

A fitnessfüggvény a modellben megjelenő vállalati stratégiák, termelési technológiák életképességét reprezentálja a vállalati célrendszer tényezői alapján. A fitnessfüggvény, esetleg függvények megalkotására több lehetőség nyílik. Mivel gyakran a többszörös céllal rendelkező döntési problémák egyértelmű optimális megoldását nem tudjuk meghatározni, ezért néha szükséges a hatékony megoldások meghatározott halmazát kiszámítani, illetve behatárolni. Hatékony megoldásnak tekintjük ebben az esetben a paretoi optimális megoldást. A többcélú optimálási eljárások alapvetően négy csoportba sorolhatók.

Az aggregációs eljárás esetén, az egyedekre vonatkozóan, a különböző célfüggvények megoldásának értékeit egy közös célfüggvény értékbe –esetleg a célok fontossága alapján súlyozva - aggregáljuk. Ekkor már az optimálási probléma egyfunkciós problémának tekinthető, és általában egyetlen megoldást kapunk, és nem a különböző célfüggvényeknek megfelelő paretoi optimális megoldások halmazát kapjuk.

A változó célok elve alapján, vagyis ha több különböző fitnesskritérium van, abban az esetben a szelekciót annyi lépésre bontjuk, ahány számú kritérium van. Minden egyes lépésben kiválasztunk a populációból egy ugyanakkora számú csoportot a replikációra kijelölt állományba, amelyek az adott fitnesskritérium szerint jó eredményekkel rendelkeznek. Ezáltal azok az egyedek, amelyek több célnak is jól megfelelnek, nagyobb eséllyel szaporodnak. Ezután a kijelölt állományon végrehajtható a szelekció, a rekombináció és a mutáció.

A hasonlóságon alapuló technikák esetében két egyedet véletlenszerűen kiválasztunk a populációból és a populáció egy szintén véletlenszerűen kiválasztott részhalmazával összehasonlítjuk. Ha az egyik egyed dominál (nagyobb a fitnessértéke) a részhalmazzal szemben, akkor az reprodukálható; ha mindkettő illetve egyik sem dominál, akkor egy speciális, úgynevezett sharing-operátor segítségével kerül az egyik kiválasztásra: az az egyed, amely „családjában” (a hozzá hasonló egyedek körében) kevesebb egyed található, az kerül a kettő közül reprodukcióra.

A Pareto- bázisú optimalás a rangbázisú szelekcióra épül. A kevésbé domináns egyedek a legmagasabb rangszámot kapják és a lépésekben nem vesznek részt. A megmaradt részpopulációban megismételjük ezt a lépést mindaddig, amíg minden egyed kap egy rangszámot. Az azonos számmal rendelkező egyedek esélye a szelekcióra megegyezik. A többcélú genetikai algoritmusok több paretoi optimumot adnak megoldásként, amelyek közül a sok befolyásoló tényező miatt, nehéz a legjobb kiválasztása.

Modellünkben a fitnessfüggvény meghatározásához a következő lehetőség nyílik: az összetett vállalati célrendszer elemeit a fontossági sorrendjük alapján súlyozva, elkészítünk egy aggregált fitnessfüggvényt. A fontossági sorrendet korábbi empirikus kutatások eredményeiből, vagy elméleti síkon tudjuk meghatározni. Használhatunk százalékosan meghatározott, vagy rangsúlyokat, de az előbbit pontosabbnak érezhetjük, mert statisztikai valószínűségeen alapul. Az aggregált fitnessfüggvényben a környezetvédelem általában kisebb súllyal szerepel, ezért ebben az esetben is szükség van környezetorientált mellékfeltételek meghatározására. A fitnessérték, vagyis egy stratégiai variáció további használatának esélye, ezért közvetlenül nem függ össze a stratégia környezetbarát jellegének erősségével, a vállalat által jobban preferált célokkal áll inkább arányban. A fitnessfüggvény meghatározásakor támaszkodhatunk a hagyományos közgazdaságtanból megismert bevétel-, költség- és profitfüggvényekre, de azok kibővítése szükséges a modell magyarázóerejének növelése érdekében.

Szelekció

A modellben szelekció alatt azt a választási folyamatot értjük, amely a környezetorientált vállalati stratégiák közül - a vállalati külső és belső tényezők által meghatározott feltételekhez történő megfelelés alapján - kiválasztja a további alkalmazásra alkalmasakat. A feltételek által meghatározott jóság függvény, a fitnessfüggvény az, amely megadja az adott stratégia esélyét a szelekcióra, vagyis a későbbi felhasználásra. A stratégiák értékelése a relatív fitnessérték alapján történik.

A szelekció folyamata szelektációs és kiválasztási algoritmusra osztható fel. A szelektációs algoritmus hozzárendel minden egyedhez egy replikációs valószínűségi értéket. Ez alapján meghatározhatunk egy összértéket: $E(I) = n \cdot p_s(I)$, ahol n a populáció egyedszáma és $p_s(I)$ az érintett egyed szelektációs valószínűsége. $E(I)$ megadja az egyedek tervezett másolási számát az úgynevezett replikációra kijelölt állományban. A tervezett szó arra utal, hogy a tényleges másolási szám a kiválasztási algoritmus során kerül meghatározásra.

Szelektációs algoritmusok

Általánosan használt szelektációs algoritmus a fitnessarányos szelekció, ahol a $p_s(I)$ közvetlenül arányos a mindenkori kromoszóma fitnessértékével:

$$p_s = \frac{\Phi(I_j)}{\sum_{j=1}^n \Phi(I_j)}, \text{ ahol } \Phi \text{ a fitnessérték, } I_j \text{ a } j\text{-edik egyed.}$$

Az említett módszer alternatívája a rang- és a versenybázisú szelekció. Azért alakultak ki ezek az alternatív módszerek, mivel a fitnessarányos szelekció viszonylag alacsony szelektációs

nyomással⁷ rendelkezik. Minél nagyobb a szelekciós nyomás, annál erősebben konvergál a populáció az optimumhoz, illetve annál gyorsabban ér el egy lokális optimumot. A szelekciós nyomást a generációk azon számával jellemezzük, amely ahhoz szükséges, hogy egy adott szelekciós algoritmussal egy olyan populációt generáljunk, amely $x-1$ számú másolatot tartalmaz a legjobb egyedből (természetesen x a populáció nagysága).

A rangbázisú szelekció esetén nincs közvetlen kapcsolat a szelekciós valószínűség és a fitnessérték között. Ehelyett a populáció egyedeit a fitnessérték szerint rangsoroljuk és ez alapján kapnak egy sorszámot. Innentől kezdve a szelekciós valószínűség a rangszámmal arányos.

A versenybázisú szelekciós módszer a szelekciós és a kiválasztási algoritmust közösnek tekinti. Itt mindig z számú ($2 \leq z \leq x$) egyedet választunk ki a populációból azonos szelekciós valószínűség mellett, ezeknek a fitnessértékét összehasonlítjuk és a legjobbkat másoljuk a replikációra kijelölt állományba. Ezt a lépést n -szer megismételjük. A z tényezőt keresztül tudjuk a szelekciós nyomást közvetlenül szabályozni: minél nagyobb z értéke, annál nagyobb a szelekciós nyomás. A versenybázisú szelekciós eljárás mindenesetre magában hordozza azt a veszélyt, hogy extrém esetben n számú azonos egyedet választunk ki a replikációra kijelölt állományba.

Kiválasztási algoritmusok

A legáltalánosabban elterjedt kiválasztási algoritmus az úgynevezett rulett-módszer. Úgy képzelhetjük el ezt a módszert, mint egy szerencsekereket, amely n számú részre van felosztva. A szelekció szélessége egyenesen arányos a hozzátartozó egyed szelekciós valószínűségével. A kereket n -szer megforgatjuk és kiválasztjuk a szülőket a következő generációhoz. Természetesen egy egyednek annál nagyobb az esélye a többszöri kiválasztásra, minél nagyobb a fitnessértéke. Itt is, mint a versenybázisú szelekciós eljárásnál, fennáll annak a veszélye, hogy az összes kiválasztott egyed azonos lesz. Ennél az eljárásnál aránylag magas a tervezett és a tényleges kiválasztás közötti eltérés, mégis ez a legelterjedtebb eljárás.

Az említett eltérés sokkal kisebb a sztochasztikus mintavételnél. Szemléltetésképpen ismét egy szerencsekerekből indulunk ki, mint a rulett-módszernél. Itt is arányos a szelekció szélessége a szelekciós valószínűséggel. Azonban ebben az esetben a kerék köré n számú mutatót helyezünk el (n az egyedszám). A kereket csak egyszer forgatjuk meg, és az adott egyedet annyiszor választjuk ki a rekombinációra, ahány mutató az adott egyedre mutat. Ez az eljárás kizárja, hogy csak egy egyed kerüljön be a kijelölt állományba.

A genetikus algoritmus modellek egy része, a korábban említett módon különválasztja a szelekciós és kiválasztási folyamatokat. A szelekciós folyamatok alapja – függetlenül a különböző típusoktól – a fitnessérték. Az előbbi pontban leszögeztük, hogy a fitnessfüggvény nem áll kapcsolatban a környezetterheléssel. Ebből arra következtethetünk, hogy a szelekciós folyamat során nem élveznek előnyt – tehát nem nagyobb az esélyük a szelekcióra – azok a variációk, amelyek környezetbarátabbak. Ez negatív hatással van a modellünk elvárt működésére. Két lehetőségünk van ebben az esetben:

- Külső beavatkozással megváltoztatjuk az extern tényezőket (erősebb és szigorúbb állami beavatkozás, beszállított nyersanyagok milyensége, stb.) annak érdekében, hogy a populáció genetikai diverzitása megváltozzon. Ezzel elérhetjük a rendszer elmozdulását az optimum irányába.
- Belülről szabályozva, diszkriminatív módon növeljük a környezetbarát variációk szelekciós valószínűségét. Ezzel modellünk magyarázóereje ugyan csökken, de meg

⁷ Szelekciós nyomás alatt azt a folyamatot értjük, amely során a fenotípusra ható szelekció, az örökletességet feltételezve, közvetett úton a genotípusokra is kifejti hatását, és végső soron megváltoztatja egy tulajdonság eloszlási görbéjét a populációban (Vogel, Angermann 1992:499).

tudjuk határozni a minimális környezetterhelés potenciális nagyságát, viszonyítási állapot biztosítva a tényleges (lokális) és a globális optimum összehasonlítására.

Korábban két kiválasztási algoritmust ismertünk meg, amely a szelekcióra kijelölt állományból kiválasztja a ténylegesen fennmaradó variációkat. Számunkra fontos, hogy megmaradjon a variációk sokszínűsége, diverzitása, mivel a gyorsan és gyakran változó gazdasági körülményekhez egy ilyen rendszer jobban tud alkalmazkodni. Környezeti szempontból is ez az állandóan változó gazdasági, társadalmi, jogi környezet jellemzi a gazdaságot. Gondoljunk csak a változó jogi előírásokra, a társadalmi érdekvédelmi csoportok növekvő nyomására, valamint a korszerűsödő alapanyagokra és termelési technológiákra.

Ezek alapján a sztochasztikus mintavétel az elterjedtebb rulett-módszernél jobban igazodik a modellünkbe, mert ott kizárt, hogy egy variáció nagyon sokszor, akár egyedülként jelenjen meg a kiválasztott állományban, ezáltal is biztosítva a rendszer diverzitását.

Rekombináció

Talán a genetikus algoritmusok legfontosabb lépése a rekombináció. A rekombináció operátora meghatározza azt a módszert, amellyel egy új egyed két vagy több régi kromoszómából, vagyis a szülők kromoszómaiból, képződhet. A szülők a replikációra kijelölt állományból kerülnek kiválasztásra. A rekombináció esetünkben a lehetséges környezetreleváns stratégiák elemeinek kombinálását, összehangolását jelenti, azzal a céllal, hogy így egy új, az elvárásoknak jobban megfelelő stratégia kerüljön bevezetésre.

A kétszülős rekombinációból indulunk ki, a többszülős rekombináció ugyanis sokkal kisebb jelentőséggel bír. Azt, hogy két szülő között ténylegesen kialakul-e rekombináció, a rekombinációs valószínűségi mutató (p_c) határozza meg. Ha ez az érték például 0,6, akkor ez azt jelenti, hogy valószínűbb a rekombináció bekövetkezése, mint sem. A gyakorlatban kiválasztunk egy véletlenszerű számot 0 és 1 között, és összehasonlítjuk a rekombinációs valószínűséggel. Ha a kiválasztott szám nagyobb, mint p_c , akkor megtörténik a rekombináció, ellenkező esetben a szülői kromoszómák változtatás nélkül a következő evolúciós lépésbe, a mutációs folyamatba kerülnek. Ezt a logikai menetet az összes rekombinációtípus követi, eltérés magában a rekombinációban van.

Egypontos rekombináció

E típus alapján először is kiválasztunk egy rekombinációs pontot 1 és $L-1$ között (L a kromoszóma hossza), így meghatározzuk azt a pontot - két gén határvonalát -, amelytől az egyik szülő esetén a jobbra eső gének az első, a balra eső gének a második utódba kerülnek, a másik szülő esetén pedig éppen fordítva történik a gének elosztása.

N-pontos rekombináció

Az n -pontos rekombináció az elvét tekintve pontosan úgy zajlik le mint az egypontos rekombináció, azzal a kivétellel, hogy egy kiválasztott pont helyett n pontot választunk ki a kromoszómatoréshez.

Uniform rekombináció

Az uniform rekombináció folyamán minden egyes gén esetén vizsgáljuk, hogy az kicserélésre kerül-e vagy sem. A döntés a következőképpen történik: adott egy előre meghatározott érték p_{ux} , és az egyes génekre jellemző U_z (ahol $z=1,2,\dots,L$) érték. Ha $p_{ux} > U_z$, akkor a gén kicserélésre kerül, ellenkező esetben nem.

Génkevert rekombináció

A génkevert rekombináció az egy-, illetve n -pontos rekombináció továbbfejlesztett változata. Ebben az esetben az említett rekombinációs folyamatok további két lépéssel (keverés, visszakeverés) bővülnek. Első lépésként a megszámozott géneket összekeverjük, majd

következik a már megismert egy-, illetve n-pontos rekombináció. Az utolsó lépés a gének sorrendjének visszaállítása.

Diagonális rekombináció

A diagonális rekombináció szintén az n-pontos rekombináció továbbfejlesztett változata. Azonban az eltérés most más szempontból történik a korábban megismert eljárásokhoz képest: Ebben az esetben a rekombináció csak több mint, két szülő esetében működhet. A diagonális módszer -sajátossága miatt - i darab szülőből i mennyiségű utódot hoz létre. Ebből a szempontból ez a variáció nem a biológiai analógiát követi, mivel a természetben kevés példa található az ilyen szaporodásra. A folyamat első lépése, hogy az i számú szülői és a még „üres” utód kromoszómán kiválasztunk $i-1$ számú töréspontot. Ezután az alábbiak szerint „feltöltjük” az utód kromoszómákat: az első utód az első üres szakaszban az első szülői kromoszómaszakaszt öröklí, a másodikban a második szülő második szakaszát, a harmadikban pedig a harmadik szülő harmadik szakaszát, majd a folyamat a leirtaknak megfelelően folytatódik a második utóddal, stb.

A genetikus algoritmusok legfontosabb és ezért legszélesebb spektrumát a különböző rekombinációs eljárások nyújtják. A mi szempontunkból is a legfontosabb lépés, mert e folyamaton keresztül határozódik meg az új környezeti stratégiai variációk milyensége, vagyis, hogy milyen új elképzelések és ötletek valósulhatnak meg. A mi modellünkben a választásnál arra kell figyelemmel lenni, hogy az irányítottság, a biológiai rekombinációval ellentétben, bizonyos szintig megmaradjon a modellünkben.

Ennek a feltételnek leginkább az uniform rekombináció felel meg, ahol minden egyes bit külön kerül felülvizsgálatra, és ezután döntünk, hogy a kiválasztott variációk tagjai kicserélésre kerülnek, vagy sem. Arra vigyázni kell a cserénél, hogy ne a legkisebb kromoszómaegységet, a biteket vegyük alapul, hanem a géneket (melyek egy stratégiai egységet jelentenek), mert különben a mutációhoz hasonló folyamat történik, amely kevésbé irányított, és végeredménye kevésbé kiszámítható.

Mutáció

A biológiai genetikus folyamatok gazdasági megfeleltetésekor a mutációt vagy a stratégiaelemek „szándékos” variációjaként, vagy a saját vagy a másolt stratégiákban elkövetett hibaként definiáltuk. Ebből következően, modellünkben mutáció alatt a környezetorientált vállalati stratégia elemének/elemeinek előre tervezett megváltoztatását, vagy a stratégia végrehajtásánál fellépő, előre nem tervezett változtatásokat, változásokat értjük. A szándékolt változtatást kiválthatja a hirtelen megváltozott külső és belső mikro- és makrokörnyezet hatására kialakult állapot, ami a környezetvédelem, mint vállalati cél, jelentőségének megváltozásához vezet. Ekkor, a vállalat, például a rendelkezésre álló idő szűkössége miatt, nem képes teljes stratégiájának átalakítására, csak egy, esetleg néhány elemének megváltoztatására (csövégi technológia bevezetése, modernebb termelési eljárás). A nem szándékos módosulás az információáramlás és más vállalati folyamatok tökéletlenségéből, illetve más vállalati stratégiájának nem pontos imitálásából adódik.

A mutáció szerepe a genetikus algoritmusokban első pillantásra nem tűnik jelentősnek. Ugyanis az egyes bitek mutációs valószínűsége (p_m) alacsony, általában 0,01 és 0,001 között változik. Ennek ellenére - a biológiai evolúció folyamatát is megismerve - jelentőségét nem szabad elhanyagolni. Alacsony mutációs valószínűségi érték és relatív hosszú kromoszóma esetén a mutáció lényegében alig változtatja meg a kromoszóma értékét. Általában a mutációs valószínűség génenként azonos, eltekintve a hagyományos bináris kód esetétől, ahol a pozíciófüggő kódértékek ellensúlyozása érdekében eltérő az egyes gének mutációs valószínűségi értéke.

A mutáció jelentősége abban rejlik, hogy egyrészt megakadályozza a populáció túl korai

konvergenciáját egy lokális optimumhoz, másrészt pedig növeli a populáció inhomogén jellegét. Ezáltal bizonyos mértékig a korábban már megismert szelekciós nyomás ellen hat. Természetesen a mutáció pozitív hatása, hogy a stratégiavariációk sokszínűségének fennmaradását elősegíti, és ezzel hozzájárul a globális optimumpont esetleges eléréséhez.

A mutáció jelentőségét, tehát a modellben nem szabad elhanyagolni. Magát a mutációt szándékos, vagy véletlenszerű folyamatnak egyaránt tekinthetjük. Természetesen nem mindig pozitív irányú a mutáció hatása, tehát nem feltétlenül nő az adott kromoszóma értéke a célfüggvény tekintetében, vagyis a környezetterhelés mértéke nem feltétlenül csökken a mutáció hatására. Ezt a véletlenszerű folyamatot - a gazdasági folyamatok irányított mivolta miatt - ha szükséges kontrolálni és szabályozni kell.

A genetikus algoritmus megszakításának feltétele

A genetikus algoritmus folyamatának megszakítására több lehetőség is van:

Előre meghatározott lépésszám (generációváltás) után azt kell megvizsgálnunk, hogy a kiindulási populációhoz (stratégiavariációk) képest mennyit javult a populáció. Konkrét esetünkben ez azt jelenti, hogy van-e olyan stratégia, amellyel alacsonyabb szennyezési szintet érhetünk el. Ha igen, akkor meg kell vizsgálnunk, hogy a meghatározott feltételek mellett (persze csak akkor, ha ezt lépésenként nem ellenőriztük) a kapott stratégia kivitelezhető-e, vagy sem. Ha nem, akkor a kiindulási feltételek (szelekciós, mutációs valószínűségi érték, vagy a kiindulási populációt bővítő külső tényezők) ésszerű megváltoztatásával újra futtatjuk a modellt. A bizonyos számú lépés után a folyamatot megszakító eljárást akkor érdemes használnunk, ha valamilyen időbeli korlát, a szennyezés nagysága vagy milyensége sürgeti a vállalatot környezetbarát stratégia bevezetésére.

Egy előre meghatározott szennyezési határérték elérése esetén: Természetesen az optimális állapot az lenne, ha a szennyezés értéke nulla lenne, ez azonban csak elméletileg lehetséges. Ezért kell a határérték meghatározása úgy, hogy az az előírásoknak és elvárásoknak megfeleljen. Az is lehetséges, hogy nem alakul ki olyan stratégiageneráció, amely tartalmaz ilyen stratégiát. Ebben az esetben az előző pontban meghatározott módon kell eljárni. Ezt az eljárást, ellentétben az előzővel, akkor használhatjuk, ha számunkra a szennyezés csökkentés nem annyira sürgető, így esetleg az előbbinél alacsonyabb szennyezési érték is elérhető.

Az algoritmus leállítása függhet a populáció vagy a legjobb egyedének konvergenciájától is. A konvergenciát többféleképpen lehet definiálni. A bináris kromoszómák esetén például egy gén konvergál, ha az egész populációban az adott gén értéke például 95%-ban azonos; egy populáció konvergál, ha minden gén konvergál. Egy másik megoldás, ha a jelenlegi populáció átlagos, maximális fitnessértékét valamely régebbi populációéval hasonlítja össze az algoritmus.

Irodalom

- Arifovic, J. (1999): Inflationary deficit financing in an Open Economy: Evolutionary Dynamics. Santa Fe Working Paper 99-05-038E.
- Birchenhall, C. (1995): Modular Technical Change and Genetic Algorithms. In: Computational Economics, 8, 233-253. o.
- Birchenhall, C., Kastrinos, N., Metcalfe, S. (1997): Genetic algorithms in evolutionary modelling. In: Evolutionary Economics 7: 375-393. o.
- Brenner, T. (1998): Can evolutionary algorithms describe learning processes? In: Journal of Evolutionary Economics, 8/1998, 271-283. o.
- Dawid, H., Kopel, M. (1998): On economic applications of the genetic algorithm: a model of the cobweb type. In: Journal of Evolutionary Economics, 8/1998, 297-315. o.
- Karajz S. (2003): A közgazdaságtan biológiai megközelítése, környezet-gazdaságtani alkalmazásokkal. PhD értekezés, Miskolc.
- Lawrenz, C. (1999): Rationale Erwartungen als Ergebnis eines evolutionären Prozesses? Lernen mit genetischen Algorithmen. Jena: Arbeitspapier für den 4. Doktoranden- und Habilitanden-Workshop „Evolutionäre Ökonomik“ in Buchenbach, 12.-15.05.1999. Max-Planck-Institut zur Erforschung von Wirtschaftssystemen.
- Nissen, V. (1997): Einführung in Evolutionäre Algorithmen. Braunschweig: Vieweg Verlag.
- Riechmann, T. (1999): Learning and behavioral stability: An economic interpretation of genetic algorithms. In: Journal of Evolutionary Economics, 9/1999, 225-242. o.
- Schöneburg, E., Heinzmann, F., Feddersen, S. (1994): Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien. Bonn: Addison-Wesley.