

Gépi tanulás

Neurális hálóak, genetikus algoritmus

Közlekedési informatika MSc

Földes Dávid

foldes.david@mail.bme.hu

St. 405.

Tartalom

Mesterséges intelligencia - bevezetés

Neurális hálózatok

Evolúciós számítási technológiák

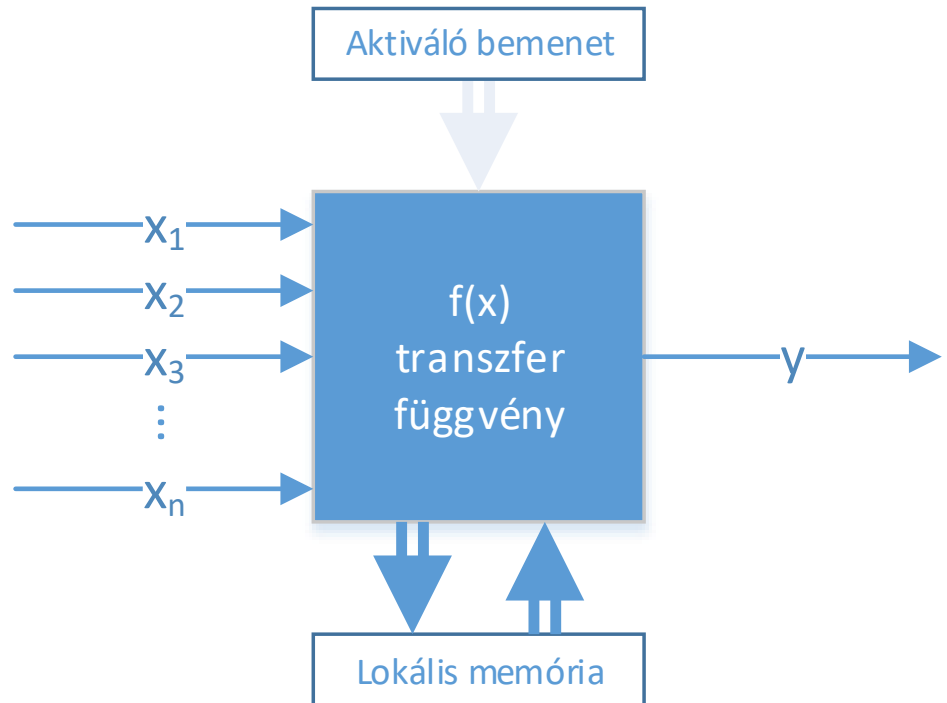
- Genetikus algoritmus (evolutionary algorithm)
- Esettanulmány

Mesterséges intelligencia

- olyan problémáknál, ahol a lineáris és nem-lineáris programozás nem alkalmazható
- számítási intelligencia (*Computal Intelligence – CI*)
 - iterációs fejlődést, tanulást helyezi előtérbe
 - biológiai fogalmak, példák átültetése
 - gyakorlati tapasztalatokon alapul
 - puha számítási technikák (soft computing) – mintája az ember
 - leggyakoribb példák:
 - neuronhálózatok
 - Fuzzy-rendszerek
 - evolúciós számítási technikák

Neurális hálózatok

- mesterséges neuronokból álló hálózatok
- neuron: több bemenetű és egy kimenetű műveleti elem
- rendelkezhet lokális memóriával: feldolgozáshoz, tanulási folyamathoz szükséges - bemeneti, kimeneti értékeket tárol



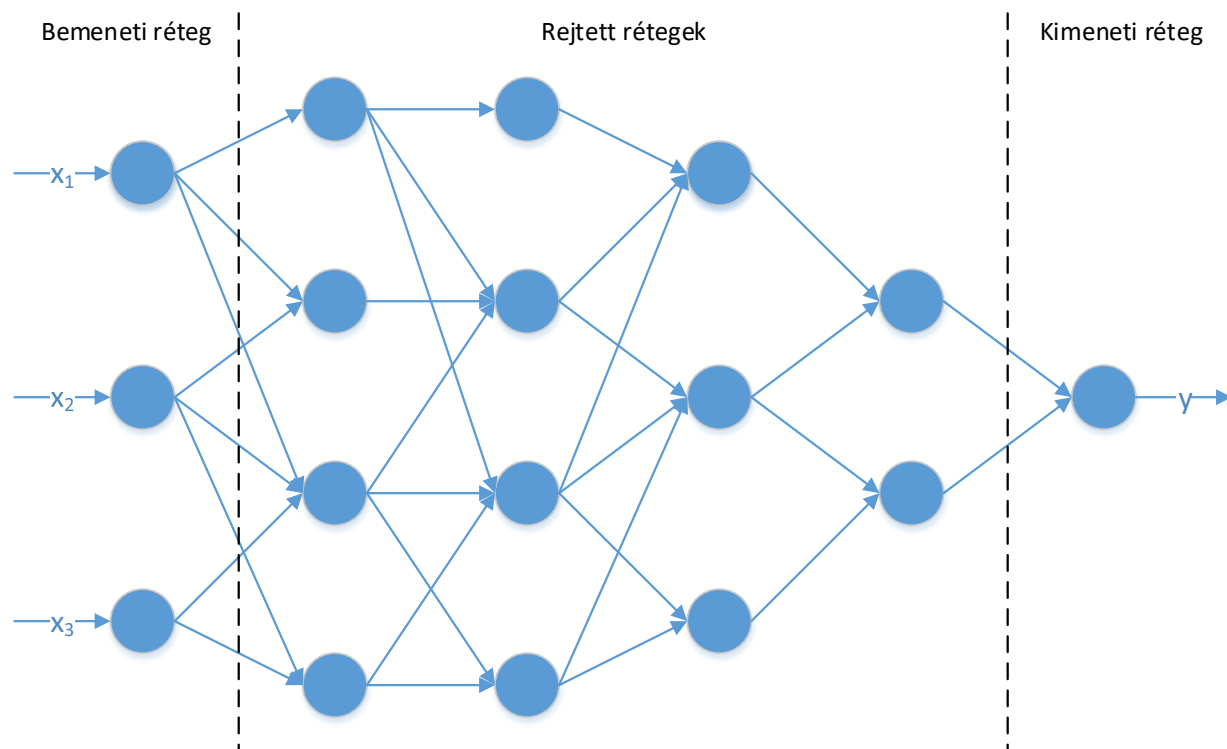
- nemlineáris transzfer függvény alkalmazásával állítja elő a kimeneti értéket
- bemeneti információk: időben változó (dinamikus) vagy állandó (statikus)
- aktiváló bemenet: ütemezés biztosítása miatt

- neuronok műveleteket végeznek egymástól függetlenül
- hálózatok tanulni is képesek, a megtanultakat beépítik a döntési folyamatba
- perceptron:
 - leggyakoribb neuron, lokális memória nélkül
 - csoportosítása:
 - a transzfer függvény a súlyozott (w_i) bemeneti információk összegzéséből állítja elő a kimeneti értéket
 - a súlyozott bemeneti információkat összegzés nélkül, közvetlenül a transzfer függvény dolgozza fel
 - súlyok meghatározása: pl.: tanulással
- jellemzői:
 - párhuzamos (gyorsaság),
 - elosztott működés (a tudás a súlyokba kerül szétosztásra)

- hálókat egy irányított gráffal reprezentálják
 - csomópont: egyes neuronok
 - irányok a kimenetektől a bemenetek felé mutatnak.

rétegekre bontás:

- egy neuron meghatározott neuronnal van összeköttetésben, általában egy irányú
- előrecsatolt hálózatok: rétegek között nincs visszacsatolás
- visszacsatolt hálózatok



előrecsatolt hálózat

- dinamikusan tudjuk változtatni a hálózatok tulajdonságait, több fajta tanulási eljárással láthatók el
- előnyösen alkalmazható:
 - humán szimulációs modellek vizsgálatára
 - „öntanuló” rendszerek modellezésére
 - párhuzamosan működő rendszerek modellezésére
 - számítógépes szimulációs programok készítésére, amikor az analitikus modell elkészítése nehezen megoldható
- hátrányai:
 - összetett modellek esetén nagyon számításigényes lehet
 - rendszer működésének optimalizálására nincsenek analitikus módszerek
 - szerkezet kialakítására érzékeny (rétegek száma, neuronok száma rétegenként, kapcsolatok)
 - súlyokra, stb. nincsenek egyértelmű, automatikus eljárások
- neurális hálózatok tanulása:
 - ellenőrzött tanulás
 - megerősítő tanulás
 - nem ellenőrzött tanulás (önszervezés)
 - versengő tanulás

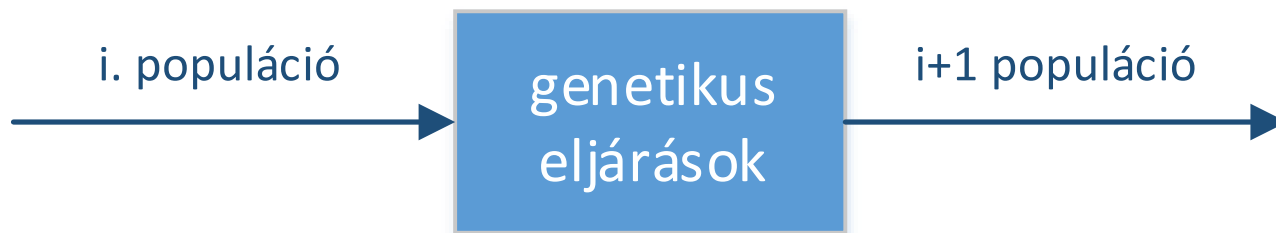
Evolúciós számítási technológiák

evolúciós algoritmus:

azoknak a számítógépes problémamegoldó rendszereknek a gyűjtőfogalma, amelyek az evolúciós folyamatok valamely matematikai modelljét használják fel

- **biológiai evolúció modellezésén** alapuló eljárások
- **iteratív módszereket** használnak (növekedés, fejlődés vizsgálata)
- **heurisztikus** probléma megoldás
- céljuk jó -, de nem biztos, hogy a legjobb - megoldás találása
- felhasználásuk esetei:
 - nagyszámítás igényű feladatok, **nagy a keresési tér**
 - analitikus módszerek nem alkalmazhatók
- heurisztikus optimalizálási algoritmusok/eljárások:
 - **evolúciós/genetikus algoritmusok (*genetic algorithms*)**
 - evolúciós programozás (*evolutionary programming*)
 - evolúciós stratégia (*evolution strategy*)
 - osztályozó rendszerek
 - genetikus programozás

- biológiából kölcsönvett folyamatok (jelenség) matematikai szimulációjával modellezik a darwini folyamatot:
 - *kiválasztódás*: a túlélés, az életrevalóság modellezése
 - *mutáció*: az alkalmazkodás, az új ismertetőjegyek megjelenése
 - *szaporodás*: a tulajdonságok terjedése, továbbvitele
- elemei:
 - a folyamatok egy vagy több független **populációt** (struktúrát) tartanak fent
 - a populációkat **generációkon** (iterációs lépéseken) keresztül modellezik és értékelik
 - **egyed**: populáció elemei
- iterációs lépés bemenete egy populáció, kimenete egy újabb populáció, a következő generáció



következő generáció előállításának **keresési eljárástípusai**:

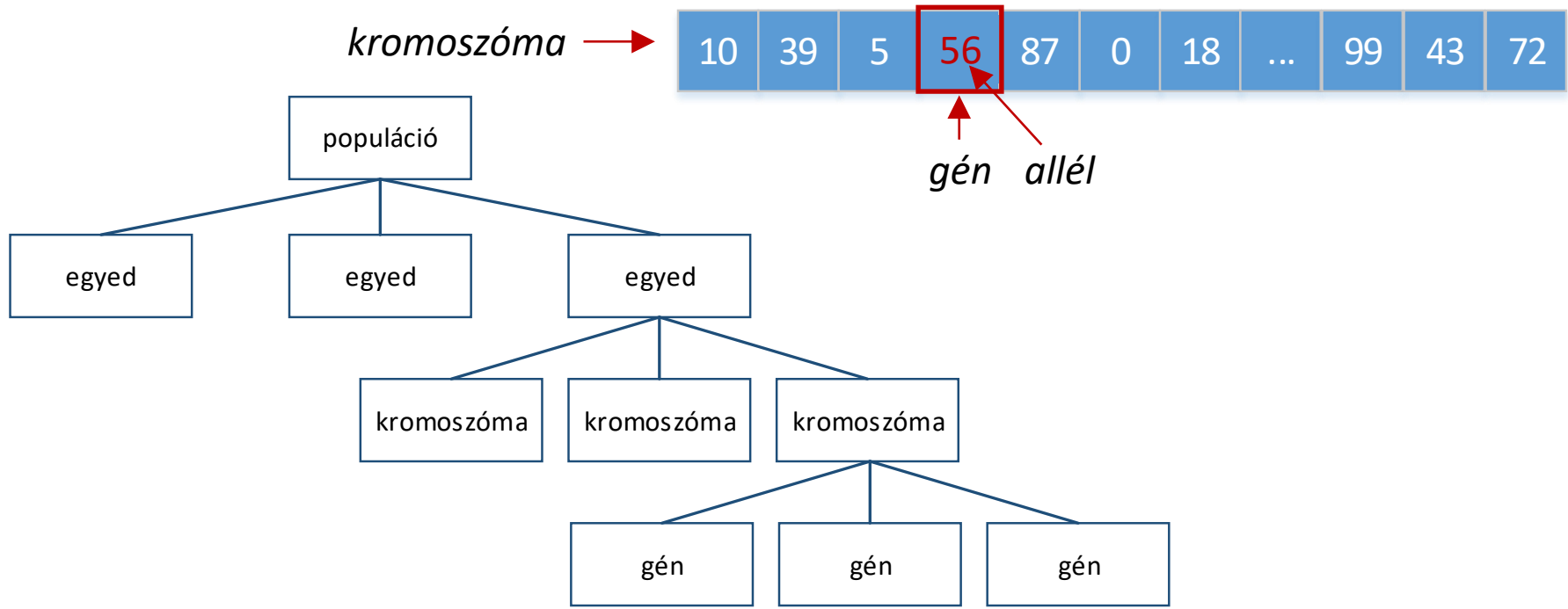
- számításra alapozott (analitikus) determinisztikus eljárások – csak a lokális szélsőérték keresésére, feltétel a deriválhatóság
 - indirekt eljárás: helyi szélsőértékeket keresése nemlineáris egyenletrendszer megoldásával
 - direkt eljárás: a függvény legnagyobb gradiensét követik (hegymászás-probléma)
- megszámlálhatósági (enumerative) eljárások:
 - véges tér (vagy megszámlálhatóvá tett – diszkrétizált – végtelen tér) pontjait értékeli
 - nagy tér esetén kevésbé hatékonyak
- véletlenszerű (random) eljárások:
 - a térben véletlenszerűen választanak pontokat és értékelik ki őket
 - a legmagasabb értékkel rendelkező pont lesz a számítás végeredménye

Genetikus algoritmus (evolutionary algorithm)

- **megszámlálhatósági keresési eljárás**, többváltozós térben a véletlenszerűséget felhasználva keresi a probléma megoldását
- folyamatos fejlődéssel keresi a legjobb megoldást, jut el az egyre tökéletesebb populációig (egyedek sokasága)
- **globális optimalizáló**
- nem használ területfüggő tudást, így akkor is működik, ha a feladat struktúrája kevéssé ismert – kapcsolatok súlyának definiálása nem szükséges

genetikus algoritmus fogalmai - biológiai fogalmak:

- **populáció:** a vizsgálat tárgyát képező tér – egyedek csoportja
- **egyed:** a populáció egy eleme, feladat lehetséges megoldása
- egyedek **kromoszómákból** épülnek fel
- a tulajdonságok az egyedek kromoszómaiban és annak alkotóelemeiben, a **génekben** tárolódnak –tulajdonságok kódolása (kezelésük egyszerűbb)
- a géneket **allélok** alkotják – jellemző, felvett érték (pl.: betű)



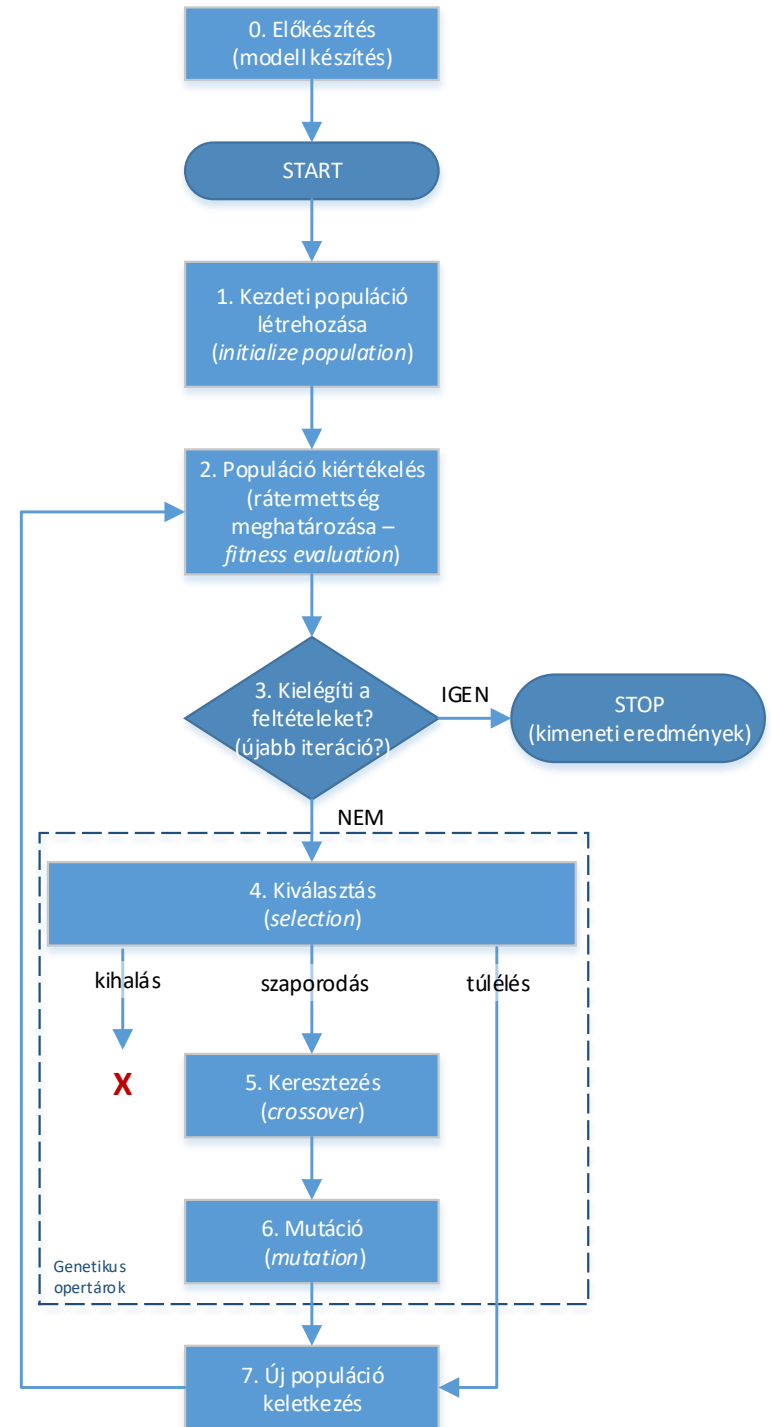
- az evolúció mutáció és kiválasztás útján történik (darwini evolúciós elmélethez hasonlóan)
- keresztezés, izoláció: gyorsítják az egyedek életrevalóságát (rátermettséget)
- párosítás, keresztezés, mutáció: egyes tulajdonságok ezek miatt kerülnek bele az egyedekbe
- feladat: sok lehetséges megoldás közül a legjobbat megkeresni – értékelőfüggvény: **rátermettségi (életrevalósági) függvény** (*fitness function*)
- a darwini kiválasztódás elve érvényesül: az rátermettségi függvény magasabb értékei „erősebb” egyedet jelentenek (*survival of the fittest*)

algoritmus főbb tulajdonságai:

- **numerikus kódolás:** géneknél a tulajdonságok numerikus kódolással jönnek létre
 - a numerikus kódolás eredményei a konkrét paraméterek, az allélok
 - pl.: ha kódolt a kék és a sárga szín, akkor a kettő keveréke nem lesz automatikusan zöld, hacsak nem ezt követi a numerikus kódolás is)
- **valószínűségi szabályok használata:**
 - determinisztikus (előre meghatározott) szabályok helyett
 - gyengébb egyed túlélésének is pozitív valószínűsége van

Algoritmus szerkezete:

- ciklus: populáció fenntartása, új populációba létrehozása
- jellemző leállítási feltételek:
 - egy adott életrevalósági szint elérése (populációra vagy egyedre nézve)
 - meghatározott futási idő túllépése (generációkban pl. 1000 ciklus)
 - az optimum „kora” maximum adott generációszám lehet (pl. 50 generáció)
- **genetikus operátorok**: új populációt leképező műveletek (kiválasztás, keresztezés, mutáció)



1. kezdeti populáció létrehozása

- **modell készítése** a feladatról
- adott feladatra az algoritmus **alapfogalmait** és azok **tartalmának meghatározása** (egyed – kromoszóma – gén)
- kromoszóma szám egyedenként általában megegyezik
- **populáció egyedszáma (mérete)** a futtatás alatt állandó (N) (általában N=50 vagy N=100)
- gének megadása:
 - véletlenszerűen – pl.: véletlenszámgenerálás

10	39	5	56	87	0	18	...	99	43	72
----	----	---	----	----	---	----	-----	----	----	----

- a teljes értékészletben közel egyenletes eloszlást biztosító inicializálással – pl.: számláló ciklus

0	1	2	3	4	5	6	...	97	98	99
---	---	---	---	---	---	---	-----	----	----	----

2. Populáció kiértékelése

- minden E egyed kiértékelése, minősítve azt
- **rátermettségi (*fitness*) függvény (f):**
az adott egyed valamely tulajdonságain alapuló *kiértékelő függvény* (u) nemnegatív tartományba való leképezésével

példa: zöldhullámtervező algoritmus

- cél: időpontok vizsgálata, mennyire teljesül a zöldhullám?
- u (kiértékelő függvény): minden időponthoz (egyed) hozzárendeli a jelzőlámpa fényeinek, színének (egyed egy tulajdonsága) állapotát (piros, piros-sárga, zöld, sárga)
- f (rátermettségi függvény): kifejezi, hogy az adott szín mennyire előnyös a „zöld hullám” szempontjából
piros a legrosszabb ($f:=0$), zöld a legjobb ($f:=100$), sárga ($f:=10$), piros-sárga ($f:=90$)
- egy 90 másodperces ciklusú közúti lámpa rátermettségi értékeinek alakulása, $t = 0$ a ciklus eleje

Vizsgált időpont t [s]	Kiértékelő függvény: a lámpa állapota $u(t)$	Rátermettségi függvény $f(t)$
0-30	piros	0
30-35	piros-sárga	90
35-87	zöld	100
87-90	sárga	10

4. Kiválasztás (szelekció)

- új populáció létrehozása: **kiválasztás (szelekció) operátorok** használatával:
 - **túlélés**: az új populációban is meglévő egyedeket kiválasztó operátorok
 - **kihalás**: a „kihaló” egyedeket kiválasztó (elimináló) operátorok; ezek az egyedek nem lehetnek szülők és nem élnek tovább
 - **szaporodás**: a keresztezés lépéshez két szülőt kiválasztó operátorok
- egy ciklus több kiválasztás operátort is tartalmazhat – az új populáció egyedszámának el kell érnie az előző populáció egyedszámát
- **szelekció típusok** - az egyed kiválasztásának valószínűségét határozzák meg – olyan szülőket akik alkalmasak a szaporodásra (utódnemzésre):
 - rátermettség-arányos szelekció
 - rang szelekció
 - verseny szelekció
 - elitizmus

egy adott tulajdonsággal rendelkező egyed többször is benne lehet egy populációban

populációk átfedése:

- ha a populációnak egy bizonyos százalékát cseréljük le, akkor átfedő populációk jönnek létre - ez a generációs rés (*generation gap*) (G)

$$G = \frac{\text{új egyedek száma}}{\text{populáció mérete}}$$

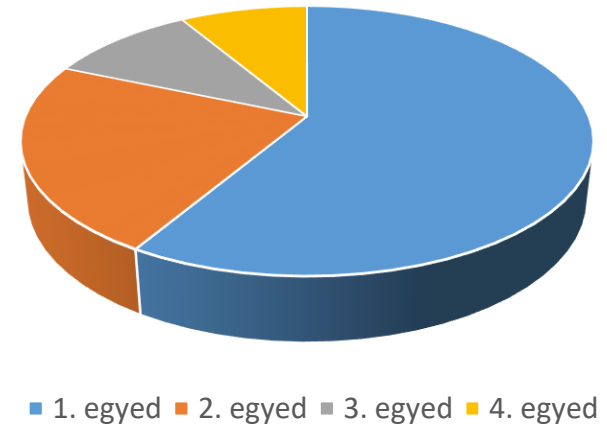
- $G=1$ esetén nem átfedő populációk, $0 < G < 1$ esetén átfedő populációk
- a két generáció között $G \cdot N$ egyed cserélődik ki, ahol N a populáció egyedszáma
- a generációs rés jellemző értéke a populáció méretének 0-10 %-a

Rátermettség-arányos szelekció (fitness proportionate selection)

- az egyed kiválasztásának valószínűsége a rátermettségi függvény értékével egyenesen arányos
- egy megoldás kiválasztásának a valószínűsége annál nagyobb, minél nagyobb a rátermettsége a populáció rátermettségi átlagához képest (pl.: rulettkerék)
- hátránya: nagy rátermettségű egyed aránytalanul sokszor bekerülhet a szülők közé → algoritmus keresési tere szűkül
- A P populáció minden E elemére a kiválasztás valószínűsége

$$P(E) = \frac{f(E)}{\sum_{E \in P} f(E)}$$

$f(E)$ az E egyed rátermettségi értéke



Számítási példa:

Négy elemű (N=4) populáció példa:

u kiértékelő függvény értékei rendre: $u(E_1)=13$; $u(E_2)= 37$; $u(E_3)= 2$; $u(E_4)= 50$

Sorszám i	$u(E) = f(E)$	$\sum_{k=1}^i f(E_k)$	$P(E) = \frac{f(E)}{\sum_{E \in P} f(E)}$	$M(n(i)) = \frac{f(E)}{N \cdot P(E)}$	$n(i)$
1	13	13	12,7 %	0,518	1
2	37	50	36,3 %	1,452	1
3	2	52	2,0 %	0,08	0
4	50	102	49,0 %	1,96	2

$M(n(i))$ az egyedek kiválasztásának várható értéke

$n(i)$ a tényleges kiválasztási szám

Rang szelekció (rank selection)

- egyes egyedekhez egy rangsorszámot rendel
- rangsorszámokon alapuló rátermettség-arányos szelekciót hajt végre
- legkisebb rátermettségű elem rangja 1, a legnagyobb rátermettségű elem rangja N
- csökkenthető a kiugróan alacsony vagy magas rátermettségű egyedek hatása a rátermettség-arányos szelekcióban

Sorszám i	u (E_i)	$f(E_i) =$ $\text{rang}(u(E_i))$	$P(E) = \frac{f(E)}{\sum_{E \in P} f(E)}$	$M(n(i)) =$ $N \cdot P(E)$	$n(i)$
1	13	2	20,0 %	0,80	1
2	37	3	30,0 %	1,20	1
3	2	1	10,0 %	0,40	0
4	50	4	40,0 %	1,60	2

Rátermettség arányos - Rang szelekció eredményeinek összehasonlítása:

Sorszám i	$u(E_i)$	Rátermettség-arányos szelekció		Rang szelekció		
		$P(E_i)$	$M(n(i))$	$f(E_i)$	$P(E_i)$	$M(n(i))$
1	13	12,7 %	0,51	2	20,0 %	0,80
2	37	36,3 %	1,45	3	30,0 %	1,20
3	2	2,0 %	0,08	1	10,0 %	0,40
4	50	49,0 %	1,96	4	40,0 %	1,60

Verseny szelekció (tournament selection)

- csoport választása véletlenszerűen a populációból
- a csoport legrátermettebb egyede lesz a kiválasztott egyed
- ha csoportok egyedszáma kettő, akkor az operátor pár-verseny szelekció (binary tournament selection)

Elitizmus (elitism)

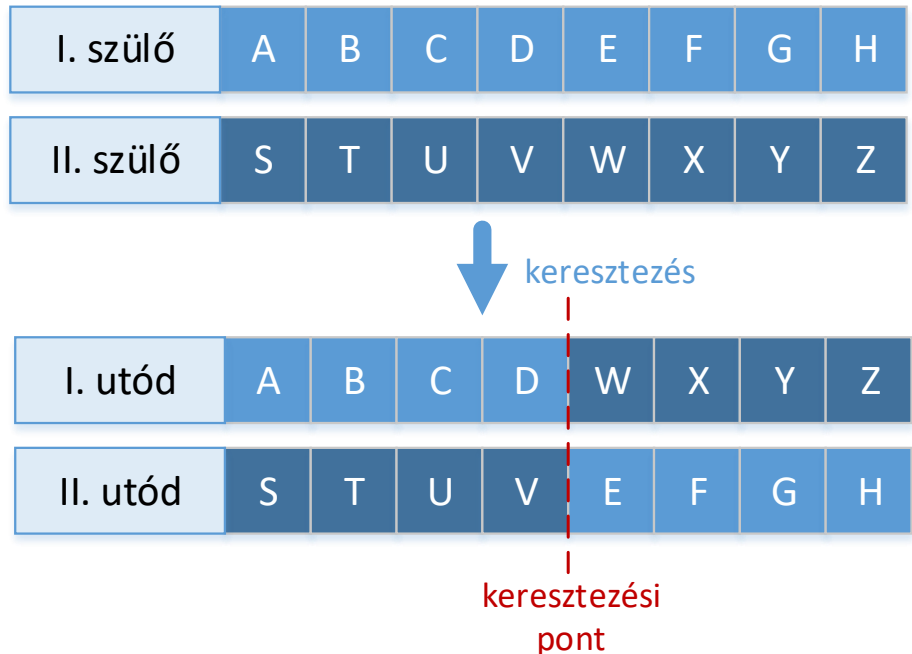
- a mindenkori legjobb ϵ darab egyed fennmaradását biztosítja
- a legmagasabb ϵ darab rátermettségi függvényértékkel rendelkező egyed automatikusan bekerül az új populációba is
- a verseny a kiválasztott csoportra elitizmust biztosít, de nem feltétlen biztosít a teljes populációra nézve elitizmus – csoportképzésnél nem feltétel, ha a legerősebb egyed is bent maradjon

5. Rekombináció, keresztezés

- a két szülőből két utód egyed előállítása
- a két szülőt előzőleg kiválasztás operátorral határozzuk meg
- az utódegyedek előállítása a keresztezés operátor(ok) alkalmazásával történik
- a létrejövő egyedek kerülnek az új populációba

egypontos keresztezés (*one-point crossover*)

- véletlenszerűen kiválasztott géntől (keresztezési pont - *crossover point*) kezdve felcseréli a két szülő génjeit
- tovább fejlesztés: *többpontos keresztezések*, ahol minden keresztezési pontban megfordul a felcserélés
- keresztezési pontok maximális száma = egyed génjeinek száma



egyenletes keresztezés (*uniform crossover*)

- a kiválasztott pozíciókban az egyedek kromoszómákat cserélnek.
- egy pozíció kiválasztásának a valószínűsége rendszerint 0,5, de lehet bármilyen kiválasztott érték



6. Mutáció

- divergenciát visz egy konvergens populációba
- új tulajdonságot, paraméterértéket visz az egyedhalmazba
- a mutáció révén kerüli ki az algoritmus a lokális szélsőértékeket
- több fajta mutációs operátor (eltolás, csere, stb.)
- mutációs operátorainak száma függ:
 - az implementációban egy gént hány független értékkel lehet jellemezni
 - van-e értelme az adott érték változtatásának
- minden mutáció operátorhoz egy valószínűséget rendelünk $P(M)$
- ha egy véletlenszám ennél a valószínűségnél kisebb, a mutáció végrehajtódik és megváltoztatja az egyed valamely (vagy akár több) kromoszómájának valamely (vagy akár több) génjét

Genetikus algoritmus alkalmazhatósága

logisztika területén: járatszerkesztés, személyzetvezénylés

utazó ügynök probléma (gráf pontjainak optimális bejárása)

- N város esetén az analitikus módszer $N!$ összeadási műveletet igényel, ami 30 város esetén körülbelül $2,65 \times 10^{32}$ számítást jelent
- genetikus algoritmussal kb 1 perc alatt lehet megoldást találni

járatszerkesztés: utazóügynök továbbfejlesztése

adatillesztési és darabolási problémák

gazdasági trendkeresés

órarendek és időzítési problémák megoldása

Közforgalmú közlekedés időbeli tervezése (esettanulmány)

probléma: ütemes menetrend rendszer kidolgozása közlekedési hálózatra, ami figyelembe veszi az átszállási kapcsolatokat

A feladat:

- menetrendváltozatokat generálni
- a menetrendváltozatokat a követelmények által megszabott módon kiértékelni
- a kiértékelésre alapozva a legjobb változatot kiválasztani

Modell alkotás:

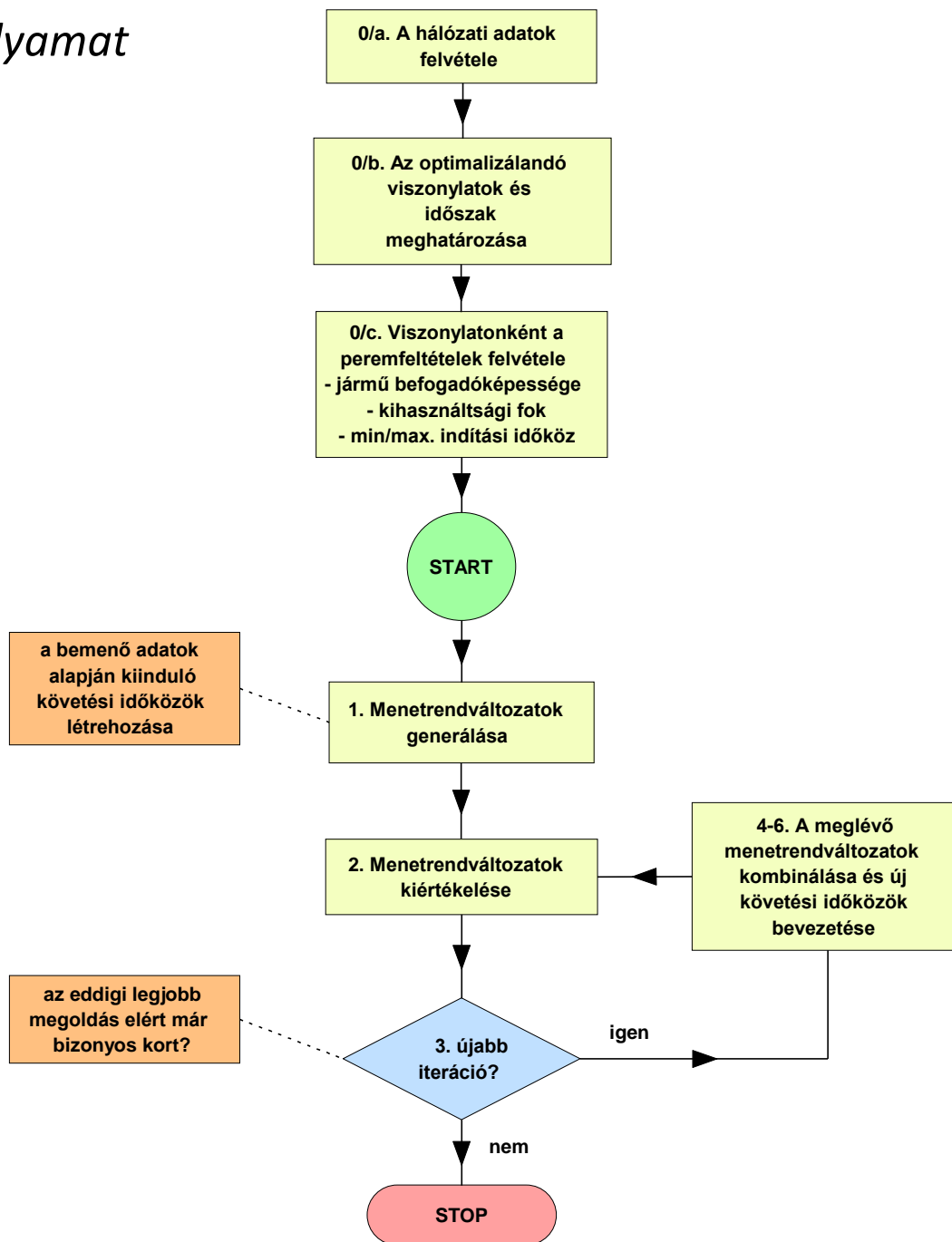
Figyelembe vett/leképezett tulajdonságok:

- térbeli:
 - viszonylat megkülönböztetése,
 - útvonalak (irányok), megállóhelyek, végállomások kijelölése
 - közös megállóhelyek lehetősége
- időbeli:
 - átgyaloglási idők
 - végállomástól számított menetidők
 - végállomási indítások hozzárendelése a viszonylathoz
 - minimális, maximális indítási időköz
- utasáramlatok
 - keresztmetszeti utasszámok megadása megállóhelyek előtt
 - átszállási áramlatok nagysága
 - jármű befogadóképesség, kihasználtsági fok

Gráf alapú modellezés

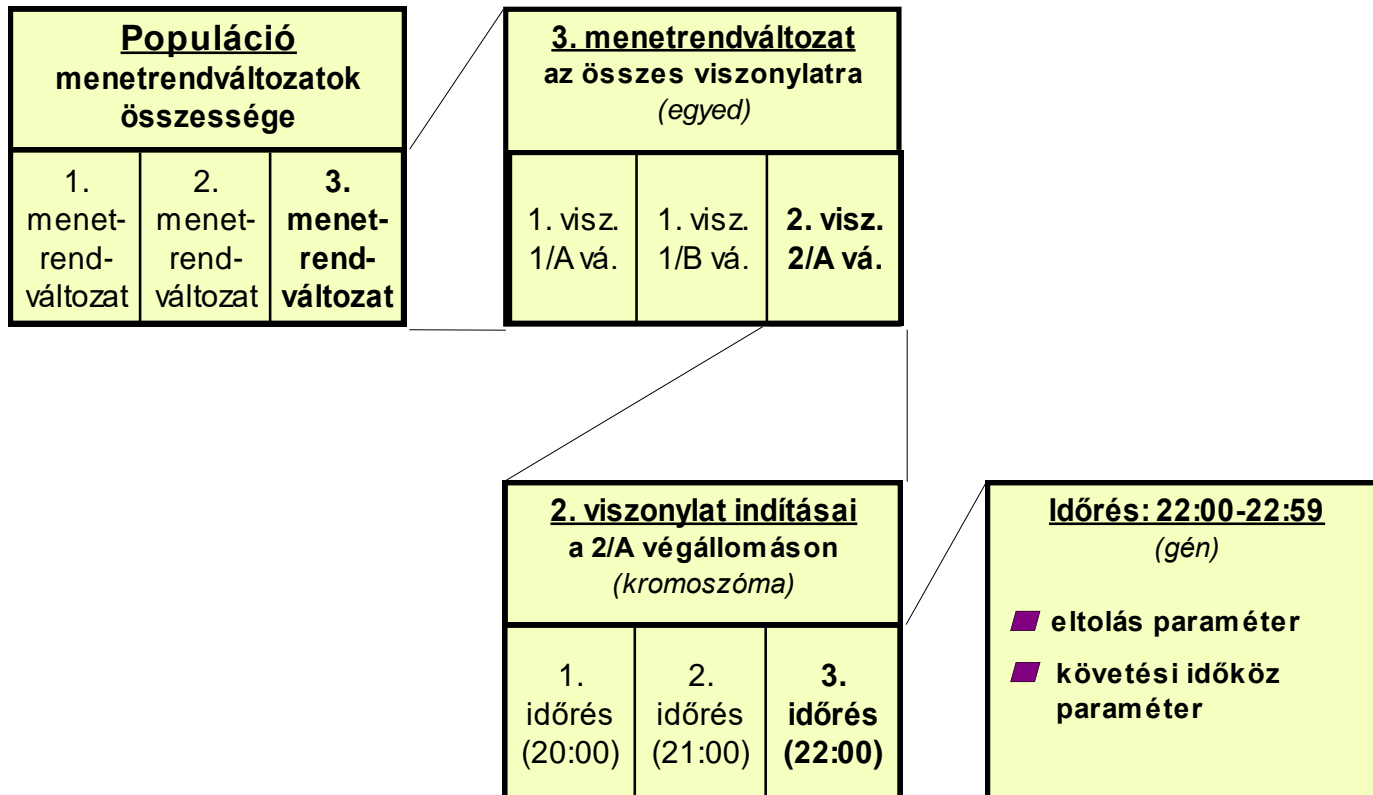
- irányított, súlyozott élek (forgalomnagyság)
- súlyozott csúcsok (időpont értékek)

Működési folyamat



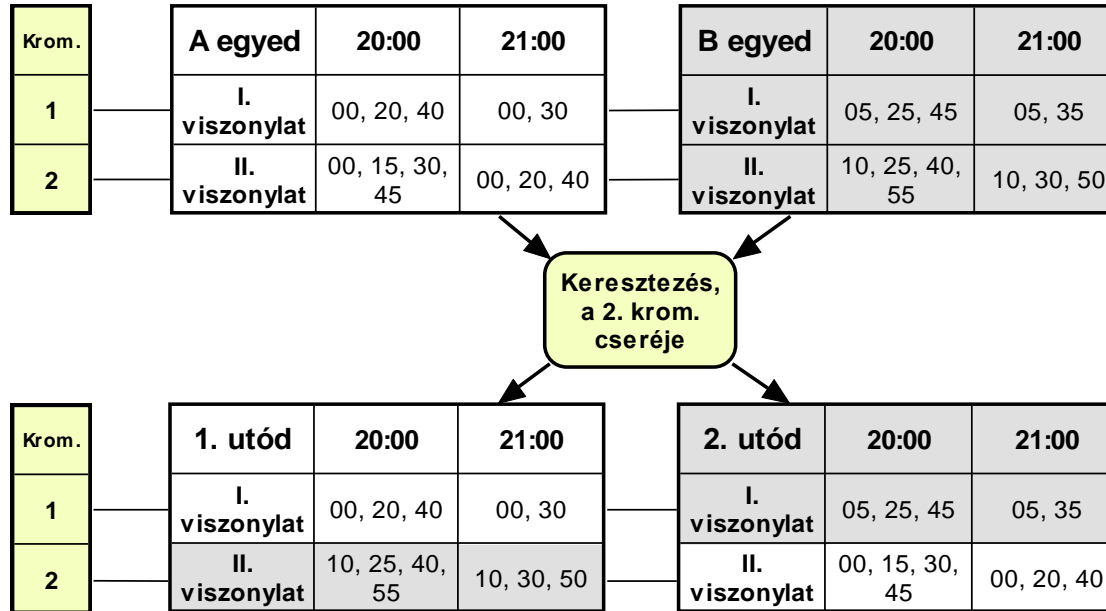
Elemek

GA fogalom	közlekedési megfeleltetés
populáció	menetrendváltozatok összessége az összes vizsgált viszonylatra
egyed	egy menetrendváltozat az összes vizsgált viszonylatra
kromoszóma	menetrendváltozat adott vizsgált viszonylatra adott végállomásról együttesen minden időrésre
gén	adott viszonylat adott végállomásról történő indításának időpontjai egy időrésben



Genetikus operátorok

Keresztezés:



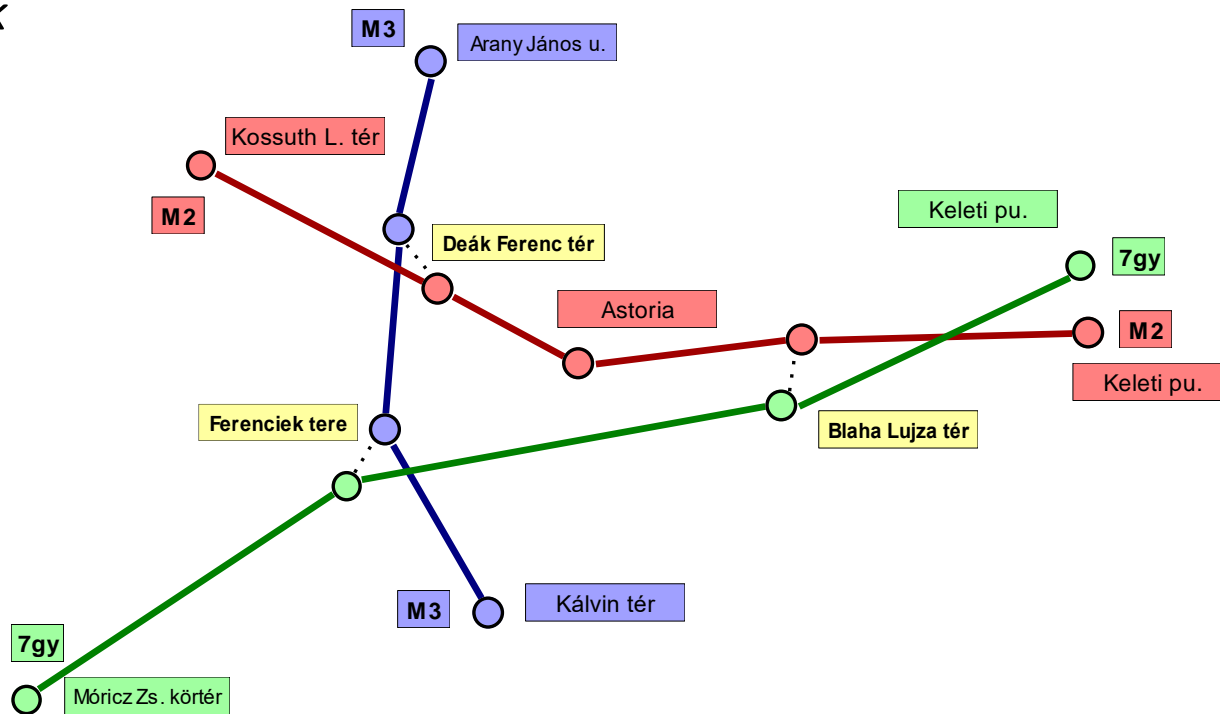
Mutáció:
követési időköz

<u>A</u>	20:00	21:00		<u>A'</u>	20:00	21:00
I. visz.	00,20,40	00,30		I. visz.	00,30	00,30
II. visz.	05,25,45	05,25,45		II. visz.	05,25,45	05,25,45

eltolás

<u>A</u>	20:00	21:00		<u>A'</u>	20:00	21:00
I. visz.	00,20,40	00,30		I. visz.	02,22,42	00,30
II. visz.	05,25,45	05,25,45		II. visz.	05,25,45	05,25,45

Eredmények



Viszonylat	Végállomás	Indítási időpontok	
		20:00	21:00
M2	Keleti pályaudvar	:01 ⁰⁰ , :09 ⁰⁰ , :17 ⁰⁰ , :25 ⁰⁰ , :33 ⁰⁰ , :41 ⁰⁰ , :49 ⁰⁰ , :57 ⁰⁰	:01 ⁴⁰ , :12 ²⁰ , :23 ⁰⁰ , :33 ⁴⁰ , :44 ²⁰ , :55 ⁰⁰
	Kossuth Lajos tér	:01 ⁰⁰ , :09 ⁰⁰ , :17 ⁰⁰ , :25 ⁰⁰ , :33 ⁰⁰ , :41 ⁰⁰ , :49 ⁰⁰ , :57 ⁰⁰	:01 ⁴⁰ , :12 ²⁰ , :23 ⁰⁰ , :33 ⁴⁰ , :44 ²⁰ , :55 ⁰⁰
M3	Arany János utca	:05 ²⁰ , :13 ²⁰ , :21 ²⁰ , :29 ²⁰ , :37 ²⁰ , :45 ²⁰ , :53 ²⁰	:08 ⁴⁰ , :19 ²⁰ , :30 ⁰⁰ , :40 ⁴⁰ , :51 ²⁰
	Kálvin tér	:04 ⁰⁰ , :10 ²⁰ , :16 ⁴⁰ , :23 ⁰⁰ , :29 ²⁰ , :35 ⁴⁰ , :42 ⁰⁰ , :48 ²⁰ , :54 ⁴⁰	:01 ⁴⁰ , :12 ²⁰ , :23 ⁰⁰ , :33 ⁴⁰ , :44 ²⁰ , :55 ⁰⁰
7gy	Móricz Zsigmond körtér	:01 ²⁰ , :07 ⁴⁰ , :14 ⁰⁰ , :20 ²⁰ , :26 ⁴⁰ , :33 ⁰⁰ , :39 ²⁰ , :45 ⁴⁰ , :52 ⁰⁰ , :58 ²⁰	:05 ⁰⁰ , :15 ⁴⁰ , :26 ²⁰ , :37 ⁰⁰ , :47 ⁴⁰ , :58 ²⁰
	Keleti pályaudvar	:01 ⁰⁰ , :07 ²⁰ , :13 ⁴⁰ , :20 ⁰⁰ , :26 ²⁰ , :32 ⁴⁰ , :39 ⁰⁰ , :46 ²⁰ , :53 ⁴⁰	:05 ⁰⁰ , :15 ⁴⁰ , :26 ²⁰ , :37 ⁰⁰ , :47 ⁴⁰ , :58 ²⁰

Gráfszintezési probléma (esettanulmány)

- adott irányítatlan gráfhoz találnunk kell egy jó k színezést
 - minden csúcshoz az előre adott k különböző szín valamelyikét kell rendelni
 - minden él két különböző színű pontot kössön össze
- egy megoldás a gráf egy (nem feltétlenül jó) színezése
- a megoldásokat kódolni kell, hogy egyszerűen lehessen újakat létrehozni
 - kódoló függvényt rendelünk a megoldásokhoz – betűsorozatok
- a kódolás és a hozzá tartozó operátorok határozzák meg a keresési tér topológiáját

színezés direkt kódolása

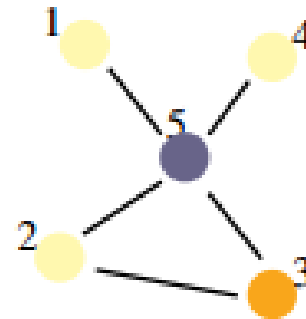
- gráf pontjaihoz rendelt színek (=sorszámok) felsorolása
- ez a számsorozat lesz a kód
- felsorolásnál a pontokat egy előre rögzített sorrendben kell érinteni

■ : 1

■ : 2

■ : 3

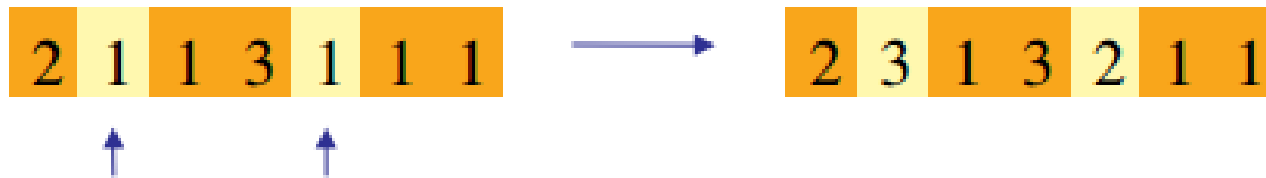
1 1 3 1 2



- kódolás előnyei:
 - könnyen lehet új megoldást előállítani
 - dekódolás minden ponthoz rendel egy színt
 - a rátermettségi függvény definiálható a rosszul színezett (azaz azonos színű pontokat összekötő) élek számának függvényeként → minél kevesebb a rossz él, annál nagyobb a rátermettsége a kérdéses megoldásnak

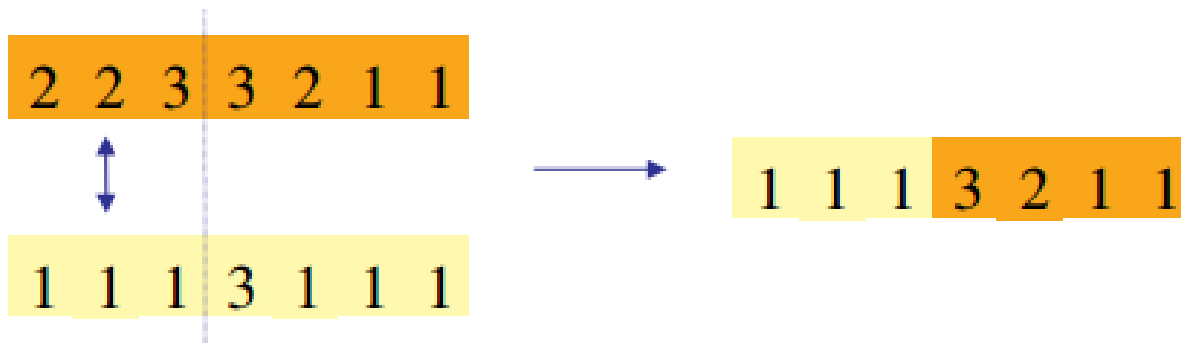
mutáció:

- kiválasztott pozíciókat változtatunk meg
- átlagosan egy pozíció változik meg egy kódban – valószínűségek beállítása



rekombináció:

- egy pontos keresztezés:

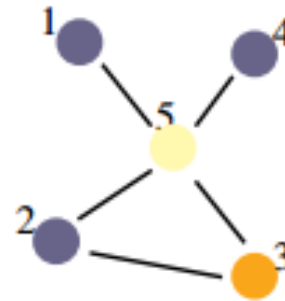


sorrendi kódolás:

- valamilyen elemek sorrendjének a kódolása
 - utazóügynök probléma esetén: egy lehetséges megoldás a kódolható a helyek felkeresésének a sorrendjével
- heurisztika: a pontok egy sorrendjéből kiindulva elvégzi a színezést
 - pontok sorra vétele és színezése arra a minimális sorszámú színre, amelynek használata az adott helyzetben lehetséges
 - ha egyetlen szín sem megfelelő, hagyjuk színezetlenül a pontot
 - minden pont-sorrendhez egyértelműen hozzárendel egy színezést
 - ha létezik jó színezés, akkor minden pontnak lesz színe
 - minél kevesebb a színezetlen pont, annál rátermettebb a megoldás



5 1 4 2 3



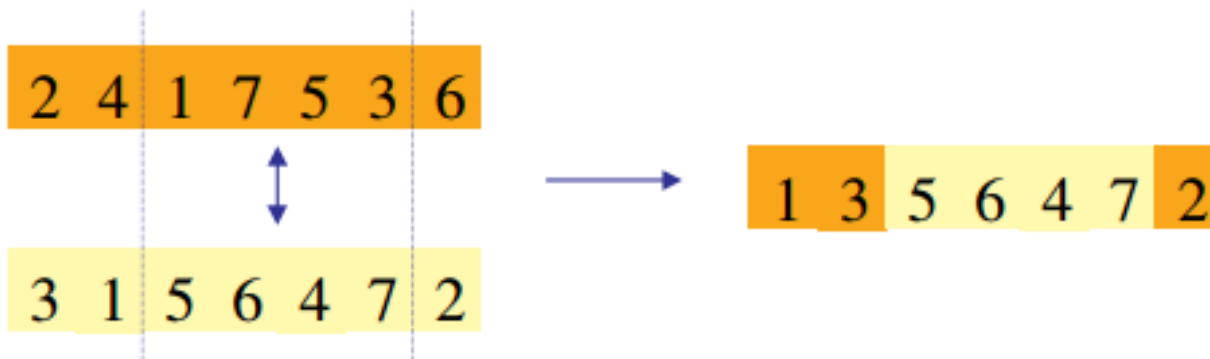
mutáció:

- ebben az esetben leggyakrabban egy véletlenszerűen kiválasztott elemi permutáció végrehajtását jelent



rekombináció:

- o egyponos keresztezés nem alkalmazható, mert az elemek erősen függnnek egymástól → OX (order crossover) rekombináció



Összegzés

Jó a genetikus algoritmus, ha

- a probléma keresési tere nagy,
- nem ismert a struktúrája,
- nem szükséges részleteiben ismerni a kiindulási problémát
- nem ismert egzakt, gyors algoritmus
- nincs szükség a pontos globális optimumra
- csak egy stabil, jó közelítés kell
- ha a kiértékelő függvény (rátermettség) pontatlan

Felhasznált irodalom:

Futó Iván: Mesterséges intelligencia ISBN: 9789639078994

János Levendovszky, András Oláh: Neural Networks and Analog Processor Array Course Book

Stuart Russel, Peter Norvig: Artificial Intelligence, A Modern Approach Panem könyvkiadó 2005, ISBN 9635454112

Nitsch Gergely: Menetrend optimalizálás genetikus algoritmus segítségével (diplomamunka)

Lukács Gábor: Átszállás Menedzser: a mesterséges intelligencia alkalmazása a személyek mozgási folyamatainál (TDK)