



ОБУЧЕНИЕ ЧРЕЗ СИМУЛИРАНЕ НА ЕВОЛЮЦИЯ

Лекция 12

Въведение.

- Ще се запознаем как може да се организира търсене като *идеята се вземе от еволюцията в природата*.
- Тези процедури се наричат генетични алгоритми и използват понятия от биологията.
- Естествената селекция използва много прости механизми, но за да се ускорят процесите, необходимо е да се вземат под внимание и редица други неща.
- Целта ни е да разберем как алгоритмите за обучение работят, когато са ефективни и защо в някои случаи могат да не постигнат целта.
- В своя труд “Поява на видовете” публикуван през 1859г. Чарлз Дарвин развива идеята за еволюцията чрез естествен подбор, която след много разгорещени спорове се превръща във всеобщо възприета теория.

Основни моменти на еволюцията чрез естествен подбор.

- Всяка характеристика на индивида може да се **предава** на наследниците.
- Естествено създадените индивидуалности се **отличават** с различни характерни особености.
- Най-приспособените индивиди имат склонност да създават повече наследници от тези с неподходящи способности, така популацията се управлява и насочва към подходящите (полезните) способности.
- За големи периоди вариациите могат да доведат до **създаването на изцяло нов вид**. Неговите способности го правят изключително приспособен към специфични екологични условия.

Естественият подбор създава възможност за разнообразие, което следва от кръстосването и мутацията.

Кръстосването събира съществуващите гени в нови комбинации.

Мутацията създава нови несъществуващи до сега гени.

Малко биология

- Всяко живо същество се състои от една или повече **клетки**.
- При висшите растения и животни всяка клетка съдържа **ядро**, което на свой ред има множество **хромозоми**.
- Носителите на наследствеността, наричани **гени**, са разположени в редички върху хромозомите.

- Хромозомите са сдвоени, като всеки родител внася една хромозома във всяка двойка.
- На ген от едната хромозома в двойката съответства ген със същото предназначение в другата хромозома в двойката. Такава клетка се нарича **диплоидна клетка**.

- При **кръстосването** двете родителски хромозоми се разплитат, съединяват се така че образуват една два пъти по-дълга верига и отново се оплитат, като образуват хромозом с двойна дължина.
- При новото сплитане се образуват нови връзки, но всеки път гените с еднакво предназначение попадат на еднакви места.

Малко биология

След това започва процесът на делене на хромозомите, който предизвиква и делене на клетките.


- Първото делене образува две клетки с хромозоми с нормална дължина.
- При деленето на хромозомите понякога се получават малки промени.
- Появява се ген, който не е съществувал до сега.
- Този нов ген се нарича **мутация**.
- Полученият нов ген може да се окаже както подходящ, така и да доведе до нежелани резултати.

Генетични алгоритми

- За да разберем как е възможно да се симулира наследствеността и еволюцията чрез действието на естествения подбор, нека разглеждаме примера за сладкаря, който се опитва да оптимизира количеството на захарта и брашното, използвани при направата на своите бисквитки.

Изпъкнал хълм

Захар	9	1	2	3	4	5	4	3	2	1
	8	2	3	4	5	6	5	4	3	2
	7	3	4	5	6	7	6	5	4	3
	6	4	5	6	7	8	7	6	5	4
	5	5	6	7	8	9	8	7	6	5
	4	4	5	6	7	8	7	6	5	4
	3	3	4	5	6	7	6	5	4	3
	2	2	3	4	5	6	5	4	3	2
	1	1	2	3	4	5	4	3	2	1
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
								Брашно		



Възможен вариант за решаване на задачата е да се изпробват всичките 81 на брой комбинации.

Но когато броят на измеренията и на възможните им стойности се увеличи значително, този подход е явно непрактичен.

Да потърсим възможност да достигнем до най-добрата комбинация, без да пробваме всичките възможни варианти.

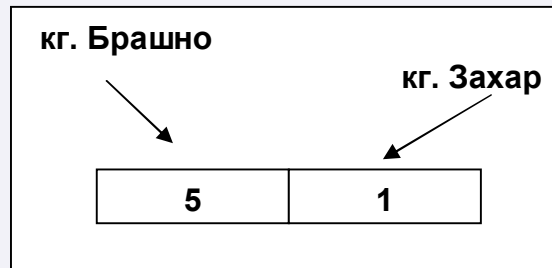
Нека за тази цел **използваме генетичен алгоритъм.**

За целта е необходимо да се създадат аналози на индивидите,

- гените,
- хромозомите,
- мутациите,
- кръстоските,
- приспособеността и
- естественния подбор

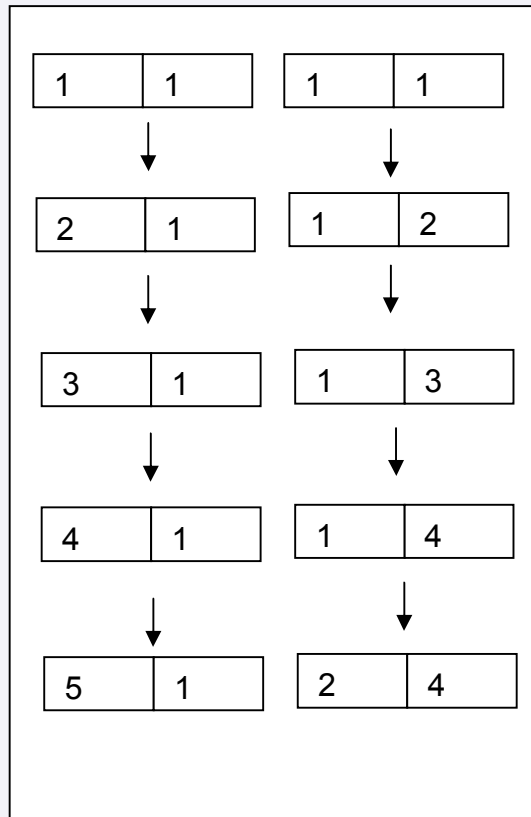
**Нека партидата от бисквитки е индивидуалност,
генът представлява кутийка с цифра, която показва количество.**

**Нека хромозомата съдържа два гена
първият показва използваното количество брашно,
вторият - използваното количество захар.**



Хромозомата е представяне, в което:

- Разполага се със списък от елементи, наречени гени.
- Съществува ясен механизъм за ирразяване пригодността на хромозомата чрез наличните гени и тяхното взаимно разположение.
- Разполага се с конструктори, които
 - Създават хромозом като списък от елементи.
 - Създават хромозом чрез кръстосване на съществуващи хромозоми.
 - Мутират съществуващ хромозом чрез промяна на един от гените.
 - Показват характерен ген на хромозомата



За да се имитира мутацията на хромозомите се избира по случаен начин един от двата гена на хромозома и той се променя чрез прибавяне или изваждане на 1 като се внимава да не се излезе извън обхвата от 1 до 9.

На фигурата е показано как от хромозома 1-1 могат след серия от четири успешни мутации да се създадат по-висококачествени индивидуалности 5-1 и 2-4 с качество 5.

■ След като решим как ще моделираме мутацията и кръстосването трябва да решим как ще имитираме **приспособеността и естествения подбор**.

Тези избори не са толкова прости. За тях има твърде много подходи.

■ Най-общо казано приспособеността на хромозома е вероятността той да оцелее до следващото поколение.

■ Необходима е формула за приспособеността на i -тия хромозом.

■ Да отбележим с f_i оцеляването на i -тия хромозом.

■ След като е вероятност, трябва да е в обхвата от 0 до 1.

■ Качеството на съответната бисквитка отбелязваме с q_i и това качество е в обхвата от 1 до 9.

■ Една възможна формула за приспособеността е следната

$$f_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j}$$


$$f_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j}$$

От сега нататък тази формула за нас ще бъде стандартен метод за определяне на приспособеността.

■ Да разгледаме примерна популация от четири хромозома, която е дадена в таблицата.

■ За всяка определяме качеството и изчисляваме приспособеността им според горната формула.

Хромозоми	Качество	Стандартно оцеляване
1-4	4	0.40
3-1	3	0.30
1-2	2	0.20
1-1	1	0.10



■ Един начин, по който може да се имитира естествен подбор, е следният:

■ Създаваме инициализиращо поколение от един хромозом.

■ Мутираме по един или повече гени от текущите хромозоми като създаваме едно ново поколение от всеки мутирал хромозом.

■ Избираме двойки хромозоми, които ще се кръстосват.
(Матираме една или повече двойки хромозоми).

■ Добавяме мутиралния и потомствения хромозоми към текущото поколение.

■ Създаваме ново поколение като запазваме
* най-добрите от текущите хромозоми и
**случайно избрани от останалите хромозоми.

■ Подреждаме селекцията в съответствие с изчислената приспособеност.

Генетичните алгоритми изискват много избори.

Колко хромозома ще има в популацията?

Ако броят им е твърде малък всички хромозоми ще имат идентични особености и кръстосването няма да върши нищо.

Ако броят им е твърде голям времето за изчисляване ще бъде прекалено голямо.

Какво да бъде **темпо** на мутацията?

Ако темпо е твърде ниско, новите характеристики ще се проявяват твърде бавно в популацията.

Ако темпо е твърде високо, новото поколение ще бъде твърде отдалечено от предишното.

Да бъде ли позволено матирането (избиране на два хромозома, които да се кръстосат) и ако да,

*как се избират двойките за кръстосване и

*как се определят местата за кръстосване?

Може ли някои хромозоми да появяват повече от веднъж в популацията?



■ Изкачване на изпъкнал хълм.

■ Изкачването на изпъкнал хълм може да се осъществи без кръстосване.

■ Нека довършим разглеждането на примера за откриване на необходимото количество захар и брашно за произвеждането на една партида качествени бисквитки.

■ Да приспособим общия метод за имитиране на естествения подбор за решаването на задачата за бисквитките:



Започва се с хромозома 1-1.

Не се разрешава една хромозома да се появява повече от веднъж във поколение.

Максимум четири хромозома оцеляват от едно поколение до следващото.

Всеки оцелял хромозом е кандидат да оцелее в следващото поколение заедно с новите хромозоми, които са създадени.

Един ген се избира случайно от всеки от оцелелите хромозоми и мутира случайно.

От мутантите се оставят само различните и те се добавят към кандидатите за оцеляване.

Не се прави кръстосване.

Приспособеността се изчислява в съответствие със стандартния метод .

Хромозомът с най-висок резултат се включва(оцелява) в следващото поколение.

Останалите оцелели от едно поколение до следващото хромозоми се избират случайно измежду останалите кандидати за оцеляване..

Генетични алгоритми

- По този метод най-добрата комбинация се получава след 16 поколения.

Изпъкнал хълм

Захар	9	1	2	3	4	5	4	3	2	1
	8	2	3	4	5	6	5	4	3	2
	7	3	4	5	6	7	6	5	4	3
	6	4	5	6	7	8	7	6	5	4
	5	5	6	7	8	9	8	7	6	5
	4	4	5	6	7	8	7	6	5	4
	3	3	4	5	6	7	6	5	4	3
	2	2	3	4	5	6	5	4	3	2
	1	1	2	3	4	5	4	3	2	1
			1	2	3	4	5	6	7	8

Брашно

Поколение 6: Хромозоми: <table> <tr><td>3-5</td><td>7</td></tr> <tr><td>1-5</td><td>5</td></tr> <tr><td>3-2</td><td>4</td></tr> <tr><td>1-4</td><td>4</td></tr> </table>	3-5	7	1-5	5	3-2	4	1-4	4	Мутация: Хромозоми: <table> <tr><td>4-5</td><td>8</td></tr> <tr><td>3-5</td><td>7</td></tr> <tr><td>1-5</td><td>5</td></tr> <tr><td>3-2</td><td>4</td></tr> <tr><td>1-4</td><td>4</td></tr> <tr><td>3-1</td><td>3</td></tr> </table>	4-5	8	3-5	7	1-5	5	3-2	4	1-4	4	3-1	3
3-5	7																				
1-5	5																				
3-2	4																				
1-4	4																				
4-5	8																				
3-5	7																				
1-5	5																				
3-2	4																				
1-4	4																				
3-1	3																				
Поколение 7: Хромозоми: <table> <tr><td>4-5</td><td>8</td></tr> <tr><td>1-5</td><td>5</td></tr> <tr><td>1-4</td><td>4</td></tr> <tr><td>3-1</td><td>3</td></tr> </table>	4-5	8	1-5	5	1-4	4	3-1	3	Мутация: Хромозом: <table> <tr><td>5-5</td><td>9</td></tr> </table>	5-5	9										
4-5	8																				
1-5	5																				
1-4	4																				
3-1	3																				
5-5	9																				
Поколение 8: Хромозоми: <table> <tr><td>5-5</td><td>9</td></tr> <tr><td>4-5</td><td>8</td></tr> <tr><td>2-5</td><td>6</td></tr> <tr><td>2-1</td><td>2</td></tr> </table>	5-5	9	4-5	8	2-5	6	2-1	2													
5-5	9																				
4-5	8																				
2-5	6																				
2-1	2																				

Вижда се че кръстосването не е необходимо за изкачването на гладък изпъкнал хълм.

Роля на кръстосването.

Кръстосването позволява на генетичните алгоритми да обхождат ефективно многомерни пространства

За да се реши кои хромозоми ще се кръстосват, се работи според следната процедура:

- Разглеждат се само хромозомите, които са оцелели от предишното поколение.
- Избират се случайно двойка хромозоми за кръстосване като се запазва стандартния метод за изчисляване на приспособимостта.
- Всяка избрана двойка хромозоми се кръстосва като се разделят гените по средата и се създават две нови кръстосани хромозоми.
- Ако създадена нова кръстосана хромозома е различна от всички добавени до момента кандидати, то тя се запазва и се добавя към кандидатите за оцеляване.

Роля на кръстосването.

- Като се използва този метод най-добрата комбинация от съставки за нашия пример се намира след 14 поколения, т.е. две поколения по-рано отколкото при метода без кръстосване.
- Причината за това увеличение на скоростта е, че кръстосването може да обединява индивидуалности, които работят добре всяка в конкретно измерение.
- Например може да обедини индивидуалности, които работят добре в измерението на захарта, и такива, които работят добре в измерението на брашното. Така ако кръстосването носи добър ген за захарта и добър ген за брашното, в новата индивидуалност ще имаме два добри гена.
- Затова кръстосването ускорява подбора, но пространството на търсене трябва да бъде такова, че да може да се търси глобалния максимум чрез търсене на максимум във всяко измерение независимо. В този случай кръстосването редуцира измерения на пространството за търсене.

Кръстосването позволява на генетичните алгоритми да прекосят преграда от направен ров.

Да приемем, че качеството на бисквитките зависи от съставките захар и брашно както е показано на следващата фигура

Изпъкнал хълм ограден с ров

Захар	9	1	2	3	4	5	4	3	2	1
	8	2	0	0	0	0	0	0	0	2
	7	3	0	0	0	0	0	0	0	3
	6	4	0	0	7	8	7	0	0	4
	5	5	0	0	8	9	8	0	0	5
	4	4	0	0	7	8	7	0	0	4
	3	3	0	0	0	0	0	0	0	3
	2	2	0	0	0	0	0	0	0	2
	1	1	2	3	4	5	4	3	2	1
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Брашно								

При тези обстоятелства не е възможно последователност от случайни мутации да доведат от външната до вътрешната страна на рова. Причината е, че необходимите междинни хромозоми имат качество 0 и приспособимост 0 и не оцеляват до следващото поколение. .

Кръстосването помага да се прескочи този ров.

Например, двата хромозома с гени 1-5 и 5-1 при избиране за кръстосване ще дадат оптималната комбинация от гени 5-5 и качество 9.

За терен с пропаст кръстосването е не само полезно, но и крайно необходимо.

Но и да добавим кръстосването при стандартния метод за оценка на приспособеността популациите проявяват склонност да пълзят покрай координатните оси, включвайки или само 1-5, или само 5-1.

Мутациите около рова умират веднага, а тези, като се стремят към 1-1 и следващите проявяват тенденция да отпаднат преди да достигнат изгодни позиции за избор за кръстосване.

За нашия конкретен случай оптимумът се достига след 155 поколения.

- Стандартният метод за определяне приспособеността не предоставя възможност да се влияе върху селекцията.
- Такава възможност предоставя методът на ранговете.

Възможности за ускоряване на генетичните алгоритми.

- **Метод на ранговете**
- **Методът на ранговете**
 - *предоставя възможност да се управлява насочването към най-добрите хромозоми,
 - **елиминира породените от неподходящ избор на измервателната скала насоки, които могат да доведат до беля.

- Методът на ранговете използва намерените качества само за подреждането на кандидатите по рангове от най-високо качество към най-ниско качество.
- След това се избира някаква фиксирана вероятност p^* .
- Генерира се вероятност p и, ако $p > p^*$ се избира кандидата с най-висок ранг, в противен случай се преминава към следващия кандидат.
- Ако този кандидат не бъде избран по същия начин се действа със следващите по ранг до предпоследния като, ако не бъде избран нито един кандидат, се избира последния.



Оцеляват индивидите с най-много разлики.

Досегашните измервания на приспособимостта пренебрегваха разликите между индивидите, които можем да си представяме като степента, в която хромозомите съдържат различни гени.

Това води до еднообразие дори при голям брой поколения.

В природата непригодните на пръв поглед индивиди преживяват твърде добре в природни ниши извън погледа на другите, пригодните индивиди.

Принцип на различието:

Може би е добре да си различен, както е добре и да си подходящ.

Ще покажем как да включим различията в едно общо измерване на приспособеността.

Това разглеждане ще ни доведе до възможности да се справим с проблема за локалните максимуми.

Методът пространство на ранговете

Методът на пространството на ранговете свързва приспособеността с ранга на качеството и с ранга на различията.

Един начин да се измерва различието между конкретен хромозом и всички избрани вече хромозоми е да се намери сумата от обратните стойности на квадратите от разстоянията между този хромозом и избраните хромозоми, т.е.

$$\frac{1}{\sum_i d_i^2}$$

Пример. Нека сме избрали хромозома 1-5 и след това трябва да направим избор измежду хромозомите 1-4, 3-1, 1-2, 1-1 и 7-5.

Ранговането на тези пет хромозома спрямо избрания 1-5 е показано в следната таблица.

В четвъртата колона е посочено изчисленото различие спрямо хромозома 1-5.

Хромозома	Качество	Ранг по качество	Ранг по различие	
1-4	4	1	0,040	1
3-1	3	2	0,250	5
1-2	2	3	0,059	3
1-1	1	4	0,062	4
7-5	0	5	0,050	2

За 5-1 и 1-4 разстоянията са $5-1=4$ и $1-4=-3$, следователно $1/(16+9)=0,040$.

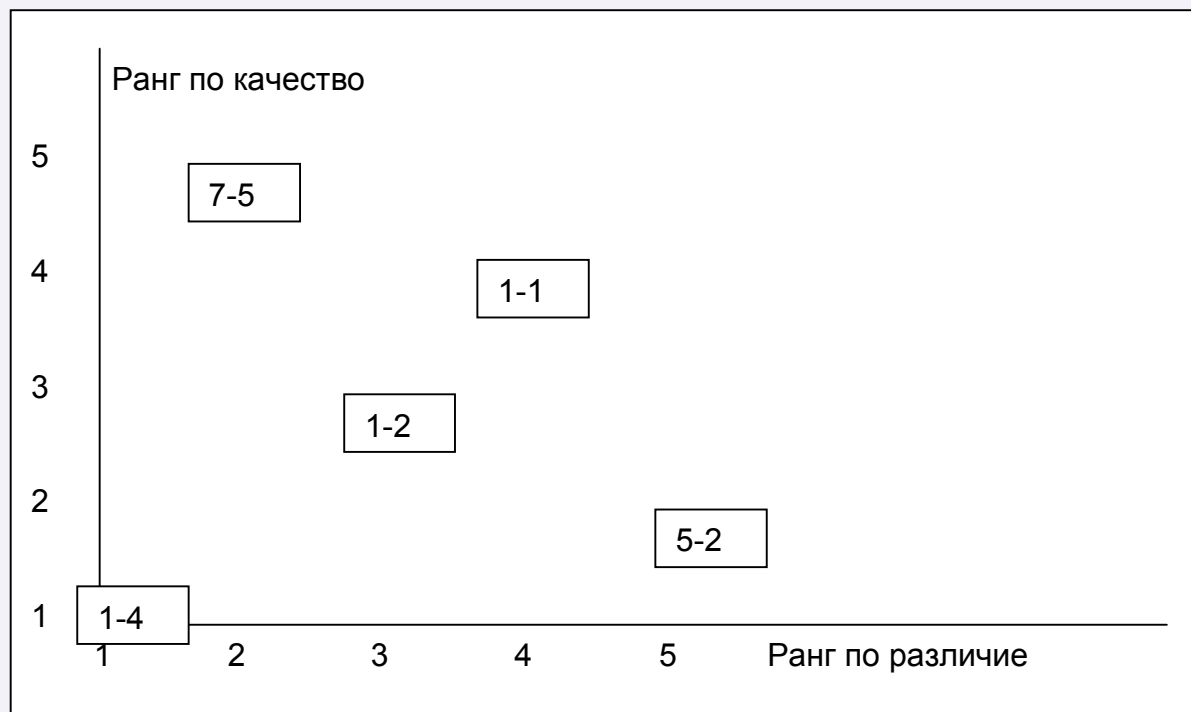
Един прост начин да се комбинират ранга по качество с ранга по различие в комбиниран ранг е следната процедура:

-Сортирай n-те индивидуалности по качество.

-Сортирай n-те индивидуалности по различие с току що избрания кандидат.

-Използувай пространството на ранговете като избереш кандидата, който е най-близо до началната точка в това пространство (долния ляв ъгъл).

Фигурата илюстрира пространството на ранговете за разглеждания пример.



Пространството на ранговете позволява две хромозоми да се сравняват и по качество и по различия.

С комбинирания ранг може да се прилага същата процедура, която бе описана в предната точка, но там се работеше само ранга по качество.

Ако продължим с последния пример ще се получи следната таблица , в която са показани сумата на ранговете, комбинирания ранг и приспособеността за $p^*=0,667$.

Хромозома	Сума на ранговете	Комбиниран ранг	Приспособеност
1-4	2	1	0,667
3-1	7	4	0,025
1-2	6	2	0,222
1-1	8	5	0,012
7-5	7	3	0,074

Нека хромозома 1-4 като най-вероятен бъде избран за следващото поколение, в което вече е включен хромозома 5-1.

За да подготвим избора на следващия хромозом трябва да изчислим разстоянията и до 1-4 и до 5-1.

Така ще се стигне до следната таблица.

Втората колона е изчисленото различие.

Хромозома	Ранг на различие	Ранг на качеството	Ранг комбиниран	Приспособеност	
3-1	0,327	4	1	4	0,037
1-2	0,309	3	2	3	0,074
1-1	0,173	2	3	2	0,222
7-5	0,077	1	4	1	0,667

Нека отново най-вероятната хромозома 7-5 бъде избрана. Последният (четвърти) избор трябва да се прави по следващата таблица.

Хромозома	Ранг на различieto	Ранг на качеството	Ранг комбиниран	Приспособеност	
3-1	0,358	3	1	3	0,111
1-2	0,331	2	2	2	0,222
1-1	0,190	1	3	1	0,667

Така имаме начин да въздействаме върху селекцията и задачата на хлебаря с наличието на препятствие ще бъде решена на 15-тото поколение, т.е. 10 пъти по-бързо от стандартния метод.

Следната таблица показва нагледно сравнението между различните методи.

Хълм	Стандартен метод	Ранг по качество	Пространство на ранговете
Изпъкнал	14	12	12
С ров	155	75	15

- **Редът на избиране на хромозомите е различен, ако работим по стандартния метод, по метода на ранговете или по метода на пространството на ранговете, който взема предвид и нивото на различията.**
- **Методът на пространството на ранговете при подходящи мутации може да стигне до решение и на седмото поколение.**
- **Проблемите с локалните максимуми се управляват по-лесно, ако методът използва различията.**
- За повечето методи за търсене локалните максимуми са капан.
- В някои методи за търсене се въвеждат механизми за измъкване от този капан като например връщане назад или първоначално голяма и постепенно намаляваща стъпка.
- Други методи въвеждат паралелно търсене с голям брой равномерно разпределени процеси с надеждата, че един от тях попаднал на максимум ще е достигал глобалния максимум.
- При генетичните алгоритми, които използват различията при оценката на приспособеността на индивидите, част от индивидите в поколението имат склонност да посещават локални минимума в границите на различията.
- Когато броят на индивидите е достатъчно голям, за да населят всички максимуми, с увереност може да се смята, че поне един индивид ще намери пътя към глобалния максимум.

Принцип насели-и-завладей

Когато търсите глобалния максимум, локалните максимуми трябва да се заселят.

Заклучение.

- Един начин за обучение се състои в имитирането на естествения подбор.
- Хромозомите определят наследствените черти. При генетичното обучение алгоритмите изменят аналози на хромозомите чрез аналози на мутирането и кръстосването, като създават нови индивиди може би по приспособими от техните родители.
- Стандартният метод измерва приспособимостта чрез качеството на индивида. Методът с ранговете свързва приспособимостта с ранга по качество, като с това избягва склонността към вредни ефекти.
- Методът на пространството на ранговете свързва приспособеността и към рангът по качество, и към ранга по различие, с което прави възможно да се избират индивиди достатъчно добри по качество, но и достатъчно различни .
- Методът на пространството на ранговете населява локалните максимуми и с това гарантира и намирането на глобалния максимум..



- **Литература.**

- [Holland, J. H., Adaptation in Natural and Artificial Systems, The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975 – Една от първите публикации в тази област.

- [Antonisse1, Jim, A New Interpretation of Schema Notation that Overtuns the Binary Encoding Constraint, Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms, 1989]- Опровергава хипотезата, че двоичното кодиране е най-добро при генетичните алгоритми.

- [Hillis, D. W., Co-Evolving Parasits Improve Simulated Evolution as an Optimizing Procedure, Physica, 1990] – Обсъждат се възможности за ускоряване на еволюцията.

-