

ŽIVOT – BAJTY, BAJTY, ..., BAJTY A BAJTY DIGITÁLNEJ INFORMÁCIE STELESNENÝCH GÉNMI



GENETICKÉ INFORMÁCIE – NAPROGRAMOVANÝ PREDPOKLAD PREŽITIA:

- ☞ utvárajú znaky a vlastnosti organizmu prostredníctvom biochemických procesov
- ☞ zachovávajú svoju integritu (stabilita), ale majú aj schopnosť občasnej trvalej zmeny (variabilita)

WETWARE

Nositeľom **genetických** [dedičných] **informácií** sú **chromozómy**.

Sú to makromolekulami materializované nosiče (médiá), ktoré sa nachádzajú sa v **jadrách** buniek.

Gény tvoria lineárne sekvencie umiestnené v **chromozómoch** na miestach zvané **lokusy**.

HLAVNOU ZLOŽKOU CHROMOZÓMOV JE DEZOXYRIBONUKLEOVÁ KYSELINA

☞ **DNK** ☞

Obsahuje aj proteínové látky a malé množstvo tukov.

**DNK PLNÍ FUNKCIU KÓDOVANÉHO ZÁZNAMU,
TVORÍ MATERIÁLNU PODSTATU DEDIČNOSTI**



**Základnými stavebnými kameňmi podieľajúcimi sa na utváraní DNK sú
kyselina fosforečná ♦ deoxyribóza (cukor),
štyri dusíkaté bázy (dva puríny a dva guaníny)
adenín – A ♦ guanín - G
thymín – T ♦ cytozín - C**

**DEOXYRIBÓZA A KYSELINA FOSFOREČNÁ SA V STRUKTÚRE DNK PRAVIDELNE STRIEDAJÚ,
VYTVÁRAJÚ KOMPLEMENTÁRNE PRIESTOROVÉ DVOJITO ŠPIRÁLOVITE STOČENÉ
REŤAZCE/VLÁKNA DNK MOLEKULY,
V KTORÝCH BÁZY A-T A G-C SÚ SPOJENÉ VODÍKOVÝMI MOSTÍKMI**

Rozvinutá ľudská DNK je dlhá približne 174 cm.

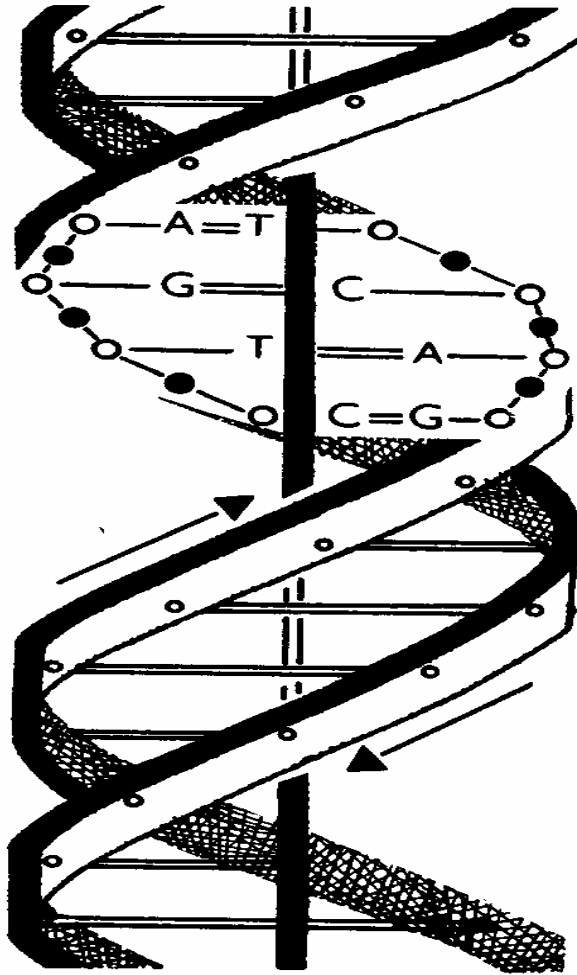
**POSTUPNOSTI ZLOŽIEK DNK VLÁKIEN UTVÁRAJÚ URČITÉ VZORCE.
USPORIADANIE BÁZ UTVÁRA GENETICKÚ INFORMÁCIU!**
(BÁZY PREDURČUJÚ PORADIE AMINOKYSELÍN V POLYPEPTIDOVÝCH REŤAZCOCH BIELKOVÍN)

GÉNY SÚ REALIZOVANÉ VEĽKÝM POČTOM VZÁJOMNE NADVÄZUJÚCICH MOLEKÚL DNK

Súbor genetických informácií – **GENOTYP** jedinca

Odhad: DNK genotypu človeka sa skladá zo sekvencie $6 \cdot 10^9$ párovaných báz (nukleotidov).

Množstvo a štruktúra DNK je vo všetkých bunkách rovnaká s výnimkou pohlavných buniek.



TRI BÁZY – TRIPLET – TVORIA KODÓN

(KÓD PRE JEDNU KONKRÉTNU AMINOKYSELINU)

**ŠTYRI BÁZY $\Rightarrow 4^3 = 64$ RÔZNÝCH KOMBINÁCIÍ BÁZ/TRIPLETŮV/KODÓNŮV
TRIPLETY/KODÓNY TVORIA PRVKY GENETICKÉHO KÓDU**

AMINOKYSELINA (JE ICH 20) MÔŽE BYŤ TEDA KÓDOVANÁ VIACERÝMI KODÓNMI

určujú látky, ktoré sa v bunkách syntetizujú, čím riadia ich funkcie

Vývin človeka sa začína zo **zygoty**, ktorá vznikne pri fertilizácii splynutím vajíčka so spermiou.

Zygota má **46 chromozómov - 23 párov**, polovicu od oboch rodičov.

Delením zygoty vznikajú bunky, ktoré obsahujú kompletnú a nezmenenú sadu chromozómov.

V chromozómoch zygoty je súbor genetických informácií – **GENOTYP** jedinca, ktorý sa **REALIZUJE (ZHMOTŇUJE) v interakcii s prostredím.**

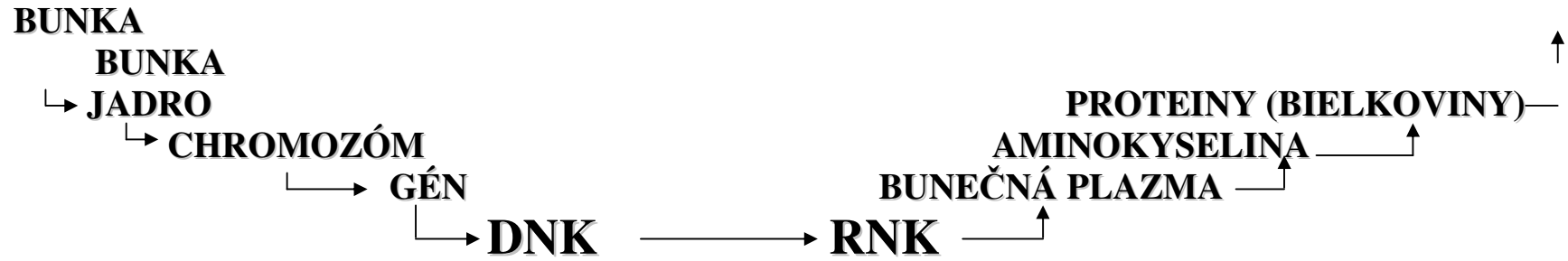
Výsledkom realizácie je **FENOTYP**, t.j. jedinec so všetkými znakmi a vlastnosťami.

Proces tvorby **fenotypu** môžu byť modifikovaný faktormi prostredia.

Každý gén riadi tvorbu **rybonukleovej kyseliny - RNK**, ktorá prenáša informácie z jadra bunky do tela bunky, kde riadi tvorbu špecifického proteínu,

ktorých prevažná časť sú enzýmy katalyzujúce rozmanité chemické reakcie v buňkách.

REALIZÁCIA GENETICKEJ INFORMÁCIE – PROTEOSYNTÉZA



**Delenie buniek \Rightarrow replikácia DNK \Rightarrow tvorba jeho vlastnej kópie:
reťazce sa dešpiralizujú \Rightarrow reťazce sa separujú \Rightarrow separované reťazce syntetizujú komplementárne reťazce**

Komplementácia sa uskutočňuje prostredníctvom mnohých enzýmov, pričom potenciálne dochádza aj k reparácii poškodených častí reťazcov.
Novovzniknuté bunky obdržia genetický materiál v rovnakom množstve ako mala materská bunka.

DNK svojou schopnosťou replikácie zabezpečuje odovzdanie genetického materiálu, genetickú stabilitu a kontinuitu.

DNK determinuje aj štruktúru bielkovín a riadi ich syntézu podľa aktuálnej potreby organizmu.
Genetická informácia, ktorá kóduje určitý proteínový produkt, sa nazýva **štruktúrový gén**.
Ich počet v ľudskom genóme sa odhaduje na 50-100 tisíc - len malá časť DNK.
Štruktúrový gén - určitý úsek DNK - striedajú sa v ňom úseky **kódujúce exóny** a **nekódujúce intróny**.

Ďalšie gény majú regulačnú funkciu: riadia replikáciu, separáciu, rekombináciu a ďalšie.
Gény obsahujú aj štart a stop signály (oddelovače).

**DNK (gény, genotyp) ⇒ mRNK ⇒ (mRNK + tRNK) ⇒ bielkovina/enzým
⇒metabolizmus
↓
fenotyp (súbor znakov a vlastností organizmu)**

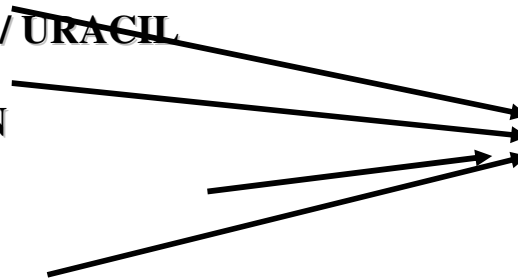
ADENIN

GUANIN

THYMIN / URACIL

CYTOZIN

KODÓN



JAZYK GENETIKY

Genetický kód je kvaternárny – 4 symboly: A, T(U), G, C
ZNAK (KODÓN) - ľubovoľná kombinácia troch symbolov genetického kódu,
napr. CCA, TGT, GCG, CCA, AAA, AAT

Jazyk DNK - 64 znakov

Znaky jazyka DNK sa prekladajú (prepisujú) do znakov aminokyselín
(20 aminokyselín a znak 'bodka')

Aminokyseliny sú stavebnými kameňmi bielkovín (tak ako kodóny sú pre DNK)

PODOBNOSŤ(kód génov, strojový kód počítačov)



64 kodónov \Rightarrow 64 znakov anglickej abecedy (veľké a malé písmená, desať číslíc, medzera, bodka)
Dostatočne bohatý prostriedok na písanie ľubovoľne rozsiahlych kníh v angličtine.

DOSTATOČNE BOHATÝ PROSTRIEDOK NA ZAPÍSANIE ĽUBOVOĽNÉHO GENOTYPU:

Počet molekúl DNK u obratlovcov je najmenej **10^9 párov báz.**

Jeden gén zodpovedá za syntézu jedného enzýmu; jeho molekula obsahuje v priemere 500 aminokyselín.
DNK môže byť nositeľom kódov na syntézu **10^7** bielkovín, t.j. zabezpečiť činnosť viac než **10^7** génov.

DNK JE SPÔSOBILÁ UCHOVAŤ POTREBNÉ GENETICKÉ INFORMÁCIE

GENETICKÝ SYSTÉM UNIVERZÁLNY SYSTÉM VŠETKÉHO ŽIVOTA NA NAŠEJ PLANÉTE

Bunky obsahujú 46 chromozómov

Sú to rozsiahle pásy údajov tvorených digitálne (diskrétne) realizovanými znakmi

"Pásy sú snímané" simultánne pracujúcimi "čítacími hlavami".

V rôznych bunkách sú "čítané" rôzne časti tej istej databázy (pások, chromozómov).

Tým sa zabezpečujú ich špecifická, (diferenciácia).

Gény dokazujú výhodnosť digitálneho kódovania a jej "osvojené" prírodným výberom.

Informácie digitálne materializované symbolmi DNK sa dajú s takmer dokonalou vernosťou kopírovať.

Schopná súperenia so súčasnými digitálnymi technológiami.

**DNK informácie sa prenášajú generáciami len s veľmi malým počtom náhodných chýb,
tie stačia na zabezpečenie variability.**

VŠETKY ŽIVÉ ORGANIZMY SÚ ZARIADENIA NA PREŽITIE

sú naprogramované na rozširovanie tej digitálnej databázy, ktorá spôsobila ich naprogramovanie.

Darwinizmus (evidentne digitálnej povahy) funguje preto, že kopírovací proces je dokonalý,
až na ojedinelé mutácie, ktoré prírodný výber buď "vypleje" alebo zachová.

Len digitálny genetický systém je schopný obstáť počas dlhých geologických dôb v darwinovskom procese .

PREDNOSŤ DISKRÉTNYCH KÓDOV

PRENOS INFORMÁCII

SYSTÉM	FYZIKÁLNY PRINCÍP
analógový	premenlivá amplitúda prenášaného napätia
digitálny/diskrétny	dvoj, osem, 256 hodnotové impulzy

DIGITÁLNE SYSTÉMY ⇒ DIGITÁLNE KÓDY ⇒
⇒ INFORMÁCIE REPREZENTOVANÉ DISKRÉTNYMI HODNOTAMI ⇒
⇒ KÓDOVA MODULÁCIA IMPULZOV

Skutočná hodnota napätia impulzu len veľmi zriedkavo sa rovná niektorej z nominálnych hodnôt.



Prijímací aparát hodnotu napätia zaokruhlí na najbližšiu diskretnú nominálnu hodnotu.



Tým prijatá informácia nadobúda takmer dokonalú podobu pôvodne vyslanej informácie dokonca aj keď prenosová trasa nie je dostatočne kvalitná.



Digitálne signály: aj po veľkom množstve opakovaných kopírovaní zachovávajú svoju kvalitu, ani po tisíckach "generácií" nestrácajú na informačnom obsahu.

Chyby v analógových signáloch: dlhé opakované kopírovanie na prenosových trasách (po sto "generáciách") produkuje iba šum.

GENETICKÝ ALGORITMUS (princípy)

- ☞ Softvérová materializáciou poznatkov z genetiky – (napodobňovanie mechanizmov prírodného výberu) – realizuje metódy prehľadávania problémového priestoru,
 - ☞ uplatňuje metódy optimalizácie danej ÚČELOVEJ FUNKCIE a zároveň uplatňuje určitý typ paralelizmu schopného nachádzať či aproximovať globálne maximum,
 - ☞ optimalizuje prirodzené parametre problému, pričom ich nositeľmi sú reťazce konečnej dĺžky utvárané symbolmi (kódmi) konečnej abecedy.
-
- ☞ Jedince populácie sú reprezentované reťazcovými štruktúrami.
 - ☞ Algoritmus na základe splňovania kritérií účelovej funkcie vyberá najzdatnejších spomedzi reťazcových jedincov a náhodnou výmenou informácií v rámci zvolenej stratégie vytvára prehľadavací algoritmus (akoby spôsobilý byť inovatívny).
 - ☞ Tým vytvára novú množinu reťazcov – novú generáciu umelých tvorov, v ktorej sa uplatňujú prvky z najzdatnejších jedincov predchádzajúcej generácie.
-
- ☞ Hoci genetické algoritmy uskutočňujú randomizované prehľadavacie kroky, tie nie sú úplne slepé. Sú to kroky, ktoré efektívne uplatňujú informácie z predchádzajúcich generácií (historické informácie) na vyhľadávanie nových miest problémového priestoru, ktoré sú príslubom zvýšenej výkonnosti nadväzujúceho prehľadávania.

GENETICKÝ ALGORITMUS

(princípy)

PRE GENETICKÉ ALGORITMY, AKO TRIEDU OPTIMALIZAČNÝCH METÓD,
SÚ ŠPECIFICKÉ ŠTYRI ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI:

- (1) NARÁBAJÚ S KÓDOVANÍM MNOŽINY PARAMETROV - NIE SO SAMOTNÝMI PARAMETRAMI
- (2) PREHĽADÁVAJÚ DANÚ POPULÁCIU - NIE PROBLÉMOVÝ PRIESTOR,
- (3) UPLATŇUJÚ ZVOLENÉ ÚČELOVÉ KRITÉRIÁ - NIE REPREZENTÁCIU ZNALOSTÍ,
- (4) UPLATŇUJÚ PRAVDEPODOBNOSTNÉ - NIE DETERMINISTICKÉ - PRECHODOVÉ PRAVIDLÁ, KEĎ GENERUJÚ NOVÉ POPULÁCIE.

GENETICKÝ ALGORITMUS SIMULUJE DYNAMIKU VÝVOJA POPULÁCIÍ:

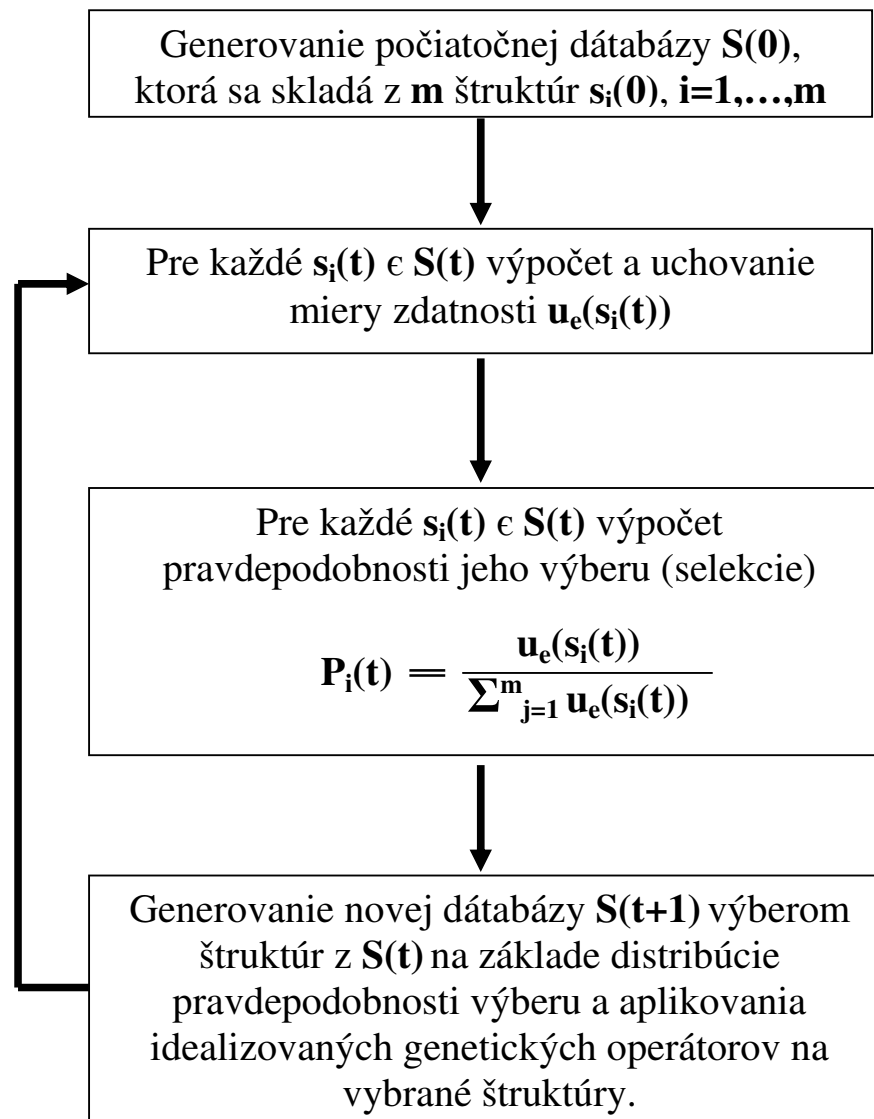
- UCHOVÁVA UŽITOČNÉ V ČASE SA VYVÍJAJÚCE INFORMÁCIE A POZNATKY STELESNENÉ SYMBOLOVÝMI ŠTRUKTÚAMI (INDIVÍDUAMI) DANEJ POPULÁCIE - DRUH DÁTABÁZY,
- ZÁROVEŇ REGISTRUJE ZDATNOSŤ, T.J. VHODNOSŤ, ÚČELNOSŤ SPRÁVANIA (REAKCIÍ NA PODNETY) ŠTRUKTÚR V PROSTREDÍ ICH PÔSOBENIA, ČO OVPLYVŇUJE VYVOJ INFORMÁCIÍ A POZNATKOV.

Algoritmus vníma jednotlivé štruktúry (individua) ako postupnosť jeho zložiek (**genotyp**), s ktorými operácie prehľadávania uskutočňujú určité manipulácie.

Každá špecifická realizácia štruktúry – **fenotyp** - (napr. súbor hodnôt parametrov), korešponduje s jedinečným **bodom priestoru** (priestoru alternatívnych riešení) **daného problému**, ktorému sa po vyhodnotení priradí určitá **miera zdatnosti - fitness** – (hodnota účelovej funkcie).

PREHĽADÁVACÍ PROCES JE ITERATÍVNY:

na základe priradených mier zdatnosti vyberá štruktúry z práve aktuálnej databázy a aplikuje na ne idealizované genetické operátory, čím vytvára nové štruktúry (potomkov) pre následné hodnotenie.



Pravdepodobnosť výberu m štruktúr z populácie jestvujúcej v čase t čo sa majú podieľať na generovaní nového pokolenia - následovníkov už jestvujúcej databázy , sa uskutočňuje výpočtom na základe ich *miery zdatnosti*

$$\frac{m * u_e(s_i(t))}{\sum_{j=1}^m u_e(s_j(t))} = \frac{u_e(s_i(t))}{1/m * \sum_{j=1}^m u_e(s_j(t))} = \frac{u_e(s_i(t))}{\bar{u}_e(S(t))}$$

kde \bar{u}_e symbolizuje priemernú hodnotu *miery zdatnosti* svojho argumentu. Výsledná pravdepodobnosť spôsobuje selektívne uprednostňovanie štruktúr, ktorých individuová *miera zdatnosti* je nadpriemerná.

Avšak realizácia iba tohto princípu by zabezpečovala iba postupný sústavný nárast počtu najzdatnejších štruktúr z počiatočnej populácie v novších populáciách. Taký monotónny postup by nezabezpečoval nachádzanie štruktúr so zvyšujúcou hodnotu *miery zdatnosti*.

Zabezpečujú to **IDEALIZOVANÉ GENETICKÉ OPERÁTORY KRÍŽENIA, MUTÁCIE A INVERZIE**

OPERÁTOR KRÍŽENIA - HLAVNÝ PROSTRIEDOK GENEROVANIA NOVÝCH ŠTRUKTÚR

Argument operátora tvorí dvojica štruktúr náhodne vybraných na základe vyhovujúcej hodnoty *miery zdatnosti*.

Operátor náhodilo volí deliace miesto (hranicu zložky) štruktúry a vykoná vzájomnú výmenu postupnosti zložiek

$$\{c_1, c_2, | c_3, c_4, c_5; c'_1, c'_2, | c'_3, c'_4, c'_5\} \Rightarrow \{c_1, c_2, | c'_3, c'_4, c'_5; c_1, c_2, | c_3, c_4, c_5\}$$

Rozhodovanie o zahrnutí jedinej alebo oboch novovzniknutých štruktúr, či ich predchodcov do novej populácie, ktoré štruktúry z predchádzajúcej generácie zdatných vynechať je vecou zvolenej špecificity GA.

Pri aplikovaní operátora kríženia sa uplatňujú iba informácie stelesnené jestvujúcimi štruktúrami. Ak - v dôsledku pamäťových ohraničení alebo straty spôsobenej v predchádzajúcich iteráciách - určitá špecifická informácia chýba, tak operácia kríženia nemá možnosť ju vygenerovať.

**OPERÁTOR MUTÁCIE – jeho argumentom je náhodilo vybraná štruktúra
DOKÁŽE NÁHODILO ZMENIŤ JEDNU ALEBO NIEKOLKO ZLOŽIEK VYBRANEJ ŠTRUKTÚRY
- TÝM UMOŽŇUJE VYTVORENIE NOVEJ INFORMÁCIE V DÁTABÁZE -**

**Operátor mutácie sa uplatňuje – v prírode aj v GA – veľmi zriedkavo,
t.j. pravdepodobnosť jeho aplikovania je veľmi malá.**

Je však predpokladom toho, že optimalizačný proces môže dosiahnuť všetky body priestoru problému.

**OPERÁTOR ZÁMENY (INVERZIE) -jeho argumentom je náhodilo vybraná štruktúra
SLUŽI NA REALIZÁCIU ZMIEN V POSTUPNOSTI ZLOŽIEK ŠTRUKTÚRY TÝM, ŽE MEDZI
NÁHODILO VYBRANÝMI MIESTAMI VZÁJOMNE ZAMENÍ PRISLÚCHAJÚCE ZLOŽKY
 $\{c_1, \blacktriangleright c_2, \blacktriangleleft c_3, \blacktriangleright c_4, \blacktriangleleft c_5\} \Leftrightarrow \{c_1, c_4, c_3, c_2, c_5\}$**

Operátor zámeny neprodukuje nové informácie, iba ich preusporiadaním vytvára inú ich reprezentáciu.

Výkonnosť adaptívnych prehľadávacích stratégií stelesnených GA
spočíva v efektívnom využívaní bohatosti informácii, ktoré poskytujú testované štruktúry
ako dôsledok množstva interakcií medzi ich zložkami.

Objavujú sa tak špecifické konfigurácie zložiek prispievajúcich k dobrej výkonnosti štruktúr

(napr. špecifický pár korešpondujúcich vlastností, špecifická postupnosť vlastností, ...).

Tie sa v procese iterácii zachovávajú a (pomerne) paralelne propagujú v populácii štruktúr.

Následne sa uplatňujú v čoraz väčšom počte indivíduí,
v dôsledku čoho také špecifické konfigurácie parametrov vytvárajú určité

PRAVIDELNOSTI (ZÁKONITOSTI) V PRIESTORE PROBLÉMU.

SAMOZAVÁDZANIE - LOADING.

Zapojením spínačov v určitej postupnosti

(v súčasnosti je taká postupnosť hardvérovo realizovaná – zadrátovaná)

spustí sa najprv malý (niekoľko-krokový) program - samozavádzač.

Ten urobil jedinú vec: poskytol inštrukcie na načítanie prvej časti papierovej pásky (dierného štítku).

Táto prvá časť potom obsahovala ďalšie inštrukcie – slúžiace na načítanie ďalšej časti samozavádzača atď.

Po načítaní celého samozavádzača bolo už možné čítať každú diernu pásku (súbor štítkov),

čím sa počítač stal funkčným.

EVOLÚCIA

Organizmy

dedia všetky svoje **GÉNY** od svojich predkov
so sklonom vytvoriť účelný **stroj – telo** snažiace sa byť funkčným ako telá predkov.

Gény sa len nezmenené odovzdávajú - dedením a uplatnením sa nezlepšujú,
žiadna z celoživotných činností individua nevplýva na jeho gény,
vyskytujú sa iba náhodné modifikácie.

Dobré geny sa prepúšťajú do nasledujúcej generácie.
Zlé gény majú tendenciu zaniknúť v telách, ktoré zomrú mladé alebo bez potomstva.

Niektoré neplodné individua (mravce, včely, osy, termity)
pomáhajú génom svojho druhu prejsť do budúcich generácií zabezpečením svojich plodných príbuzných,
obvykle súrodencov, ktorí veľmi pravdepodobne majú kópie tých istých génov.

"RIEKA" DNK \Rightarrow RIEKA INFORMÁCIÍ \Rightarrow RIEKA ABSTRAKTNÝCH INŠTRUKCIÍ (na vlastnú replikáciu)
TEČIE V ČASE (NIE V PRIESTORE).

Informácie prenášajú organizmy, informácie pôsobia na organizmy, organizmy nepôsobia na informácie.
V ničom a ničím, ani plodením. Gén buď prejde alebo neprejde do potomka.

V každej bunke potomka sa dôverne stýka polovica génov matky a polovica génov otca.
Nespájajú sa, nemiešajú sa, iba sa kombinujú, veľmi úzko spolupracujú - ich účinok sa prejavuje iba vo
výslednom efekte.

Gény pretrvávajú veľy ak sú schopné vytvárať organizmy, ktoré dokážu sa rozmnožovať spôsobom prislúchajúcim danému biologickému druhu, sú schopné uplatniť sa v spoločnosti alebo prostredí ostatných génov daného druhu a spolupracovať s nimi. Živočíšny druh: všetkými príslušníkmi preteká tá istá rieka vzájomne dobre spolupracujúcich génov.

Nový živočíšny druh vznikne vtedy, keď sa nejaký existujúci druh rozdelí. Najdôležitejším faktorom odelenia je náhodná geografická separácia. Fyzické oddelenie génov sa odohráva v kompaktných organizmoch.

Gény, okrem toho že vytvárajú svoje kópie (replikujú sa), ovplyvňujú tvar a správanie tiel organizmov, v ktorých sa ocitajú. Telá organizmov skladajúcich sa z miliárd buniek obsahujúcich ten istý genetický kód nie sú iba pasívne "nádoby" pre DNK.

Bunky patria do niekoľkých typov, v podstate rovnakých pre všetky cicavce: svalové, nervové, kostrové, kožné, kostné, obličkové, pohlavné atď. Každý typ buniek obsahuje genetické inštrukcie potrebné na vytváranie ktoréhokoľvek typu. **PODĽA TYPU BUNKY SÚ V NEJ "ZAPNUTÉ" IBA GÉNY PRÍSLUŠNÉHO TKANIVA.**

BUNKY SÚ NAPROGRAMOVANÉ SVOJIMI ZAPNUTÝMI GÉNMI: správajú sa tak, akoby vedeli aké je ich miesto vo vzťahu k susedným bunkám (morfológia).

SÚVISIACE PROCESY SÚ KATALYZOVANÉ VLASTNÝM ŠPECIFICKÝM ENZÝMOM (ŠABLÓNOU).

Veľmi veľká 3D molekula enzýmu nadobúda jedinečnú špeciálnu trojrozmernú štruktúru spontánnym zvinutím lineárneho reťazca aminokyselín.

Ide o reťazec aminokyselín tvoriacich jednorozmernú postupnosť kódových písmen v géne



určuje trojrozmernú štruktúru enzýmu.

Tvar (povrch) enzýmu tvorí šablónu pre špeciálny typ chemickej reakcie na zostavovanie molekúl špeciálneho tvaru.

Veľké množstvá rôznych druhov enzýmových molekúl paralelne a separovane spúšťajú stovky špeciálnych chemických reakcií v každej bunke.

Niekoľko kódových znakov v géne určuje postupnosť aminokyselín v enzýmovej molekule, teda tvar enzýmovej molekuly – predurčujúci jej funkcie - je produktom účinku špeciálneho génu

CHEMICKÉ REAKCIE V BUNKE URČUJÚ ZAPNUTÉ GÉNY



ZAPNUTÉ GÉNY URČUJÚ SPÚŠŤANIE CHEMICKÝCH REAKCIÍ V BUNKE

SAMOZAVÁDZANIE

(biologická forma)

Oplodnené vajíčko – jedna bunka - rozdelí sa na dve.

Následne sa tie rozdelia na dve a tak to pokračuje ďalej.

Vytvorenie miliónoch buniek trvá len niekoľko desiatok (bunečných) generácií.

Ich postupné diferencovanie rozdielnymi zapnutými génmi a aktivovanými enzýmami je spôsobené **samozavádzaním**.

Počiatočná bunka – vajíčko – nie je vo svojej vnútornej chemickej skladbe rovnorodá:

V rôznych smeroch (zhora nadol, spredu dozadu atď.) sú detekovateľné spády – gradienty – chemických látok.

Tieto veľmi jednoduché počiatkové gradienty stačia na vytvorenie prvého stupňa samozavádzacej operácie. Po piatich bunečných deleniach vzniká 32 buniek s rôznou koncentráciou a spádom chemických substancií.

Vzniknuté rozdiely stačia na zapnutie rôznych kombinácií génov v rozličných bunkách



výskyt rôznych kombinácií enzýmov



v rôznych bunkách sa zapnú rôzne kombinácie génov



bunky sa diferencujú - nezostávajú identické.

BUNKOVÉ DIVERGENCIE SÚ NAPROGRAMOVANÉ A DAJÚ SA DETAILNE PREDPOVEDAŤ

(divergencie druhov boli náhodnými výsledkami geografických náhod a predpovedať sa nedali).