

# Algoritmos Genéticos e Vida Artificial

Vitor Santos

14-10-2005

# AG - Fundamentos

Durante a sua evolução, os sistemas biológicos desenvolveram estratégias bem sucedidas de adaptação a diversos comportamentos. Essas alterações manifestaram-se em especializações estruturais e funcionais .

# AG - Fundamentos

O princípio que envolve os algoritmos genéticos é o da teoria da selecção natural das espécies, formulado por **Darwin**.

Os algoritmos inspirados nestes princípios revelaram-se bem sucedidos, quando aplicados aos desafios de aprendizagem e optimização das máquinas.

# AG - Fundamentos

## **Evolução das Espécies**

- Uma espécie evolui em virtude da diversidade
- Os organismos sobrevivem e reproduzem-se em função da sua adaptação (seleção do mais apto) e recombinação, na reprodução sexuada, o seu material genético

# AG - Fundamentos

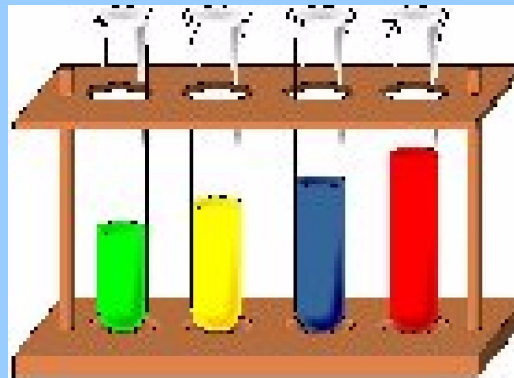
- O DNA de uma célula fertilizada contém toda a informação acerca da estrutura e do comportamento inato do novo organismo

Esta informação é designada de genótipo e exprime-se num processo designado epigénese

# AG - Fundamentos

A evolução das espécies resulta da:

- **recombinação dos genótipos da população**
- **selecção dos organismos mais aptos**



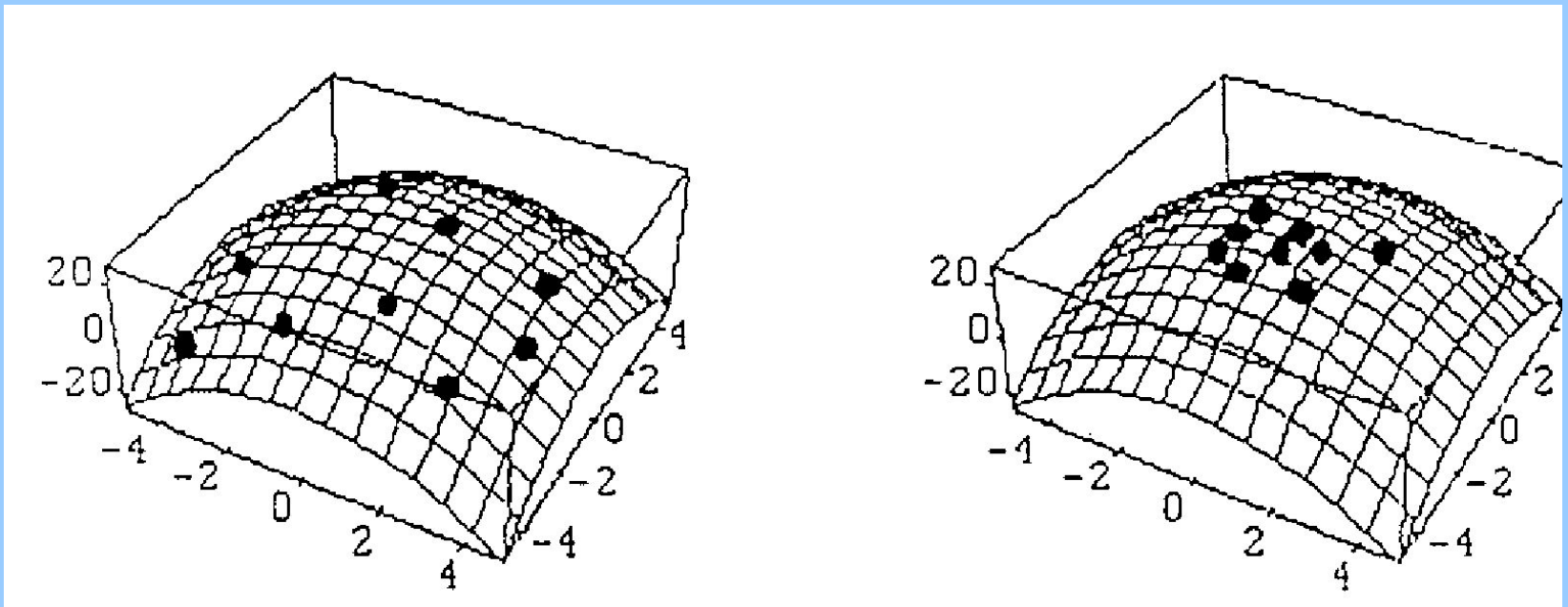
# AG - Fundamentos

A morfologia, a estrutura e o comportamento determinam o grau de adaptação do organismo

A cada genótipo podemos associar uma medida de adaptação

# AG - Fundamentos

Pode definir-se uma (hiper) superfície de adaptação no espaço dos genótipos



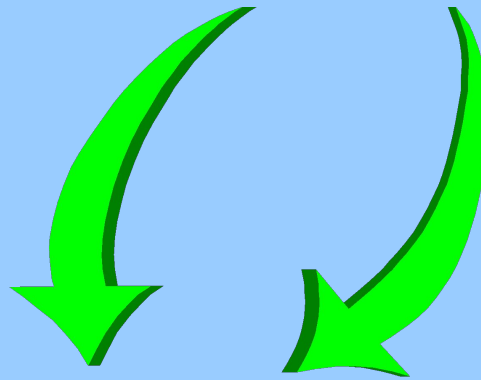


# AG - O que é ?

É um processo interactivo relacionado com uma população estruturada, candidato à solução de desafios num determinado domínio. Durante cada incremento de tempo (geração), a população é preparada para efectivar a melhor resposta a um problema, dando origem a novas populações.

# AG - Quem ?

John Holland



Universidade de Michigan, 1962

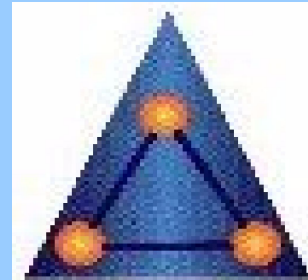
“Adaptation in Natural and Artificial Systems”, 1975

# AG - Como funcionam ?

- Pela utilização de operadores genéticos, nomeadamente :

- cruzamento

- mutação



# AG - Como funcionam ?

**Cruzamento** - Se o cromossoma for binário e de comprimento  $L$ , o cruzamento pode ser feito da seguinte forma: escolher dois elementos da população, gerar um número aleatório entre 1 e  $L-1$  (ponto de cruzamento) e trocar os segmentos, ou o da esquerda ou o da direita, com os segmentos da outra *string*.

# AG - Como funcionam ?

**Mutação** - Troca aleatória (ocasional) de um ou mais bits nos “genomas” de modo a evitar a perda prematura de material genético que poderá vir ainda a ser útil.

(Frequência de mutação recomendada:  
1 mutação por 1000 transferências de bits.)

# AG - Como funcionam ?

## **Diferença importante !**

Na Natureza, não existem organismos perfeitos e as características que podem dar alguma vantagem evolutiva não estão em geral claramente definidas.

Assim, temos que possuir uma função associada ao nosso algoritmo genético, que faça a triagem das soluções.

# AG - Como funcionam ?

Qual o papel dessa função?

Garantir que as boas soluções sobrevivam e as más sejam eliminadas, por forma a que novas soluções cada vez mais aptas sejam geradas ao longo do tempo

# AG - Como funcionam ?

Três tipo de função de adequação (ou adaptação):

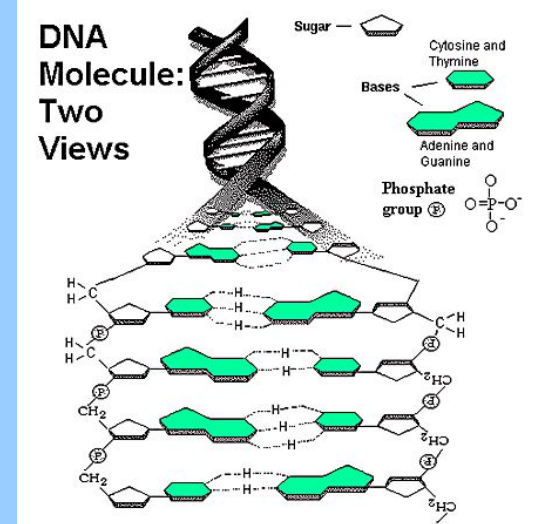
- “Fitness Function”
- “Payoff Function”
- “Objective Function”



# AG - Representação da informação

Em organismos vivos, o código genético é representado em moléculas de ADN.

Como representar essa informação nos algoritmos genéticos ?



# AG - Representação da informação

A forma mais simples é representar a solução através de código binário: cada bit ou conjunto de bits representará determinada característica da solução.



# AG - Representação da informação

## Simulação da Reprodução

A partir de 2 indivíduos, combinar os bits que fazem parte do seu código genético, para gerar novas soluções.

Existem várias formas de efectuar esta combinação, sendo, porventura, a mais vulgar o **crossover**

# AG - Representação da informação

**Crossover** : o código genético dos progenitores é partido num dado ponto e depois colado, ficando o genoma resultado com 1 secção do código de cada progenitor.

## **Simulação da Mutação**

Simples troca de um bit (ou mais) num indivíduo recém-gerado.

# AG - Natural versus Artificial

<b>Cromossomas</b>	↔	<b>Strings</b>
Genes	↔	Caracteres
Locus	↔	Posição
Alelo	↔	Valor
<b>Genótipo</b>	↔	<b>Estruturas</b>
<b>Fenótipo</b> (organismo formado pela interacção com o meio ambiente)	↔	<b>Estrutura descodificada/ conjunto de parâmetros</b>

# AG - Algoritmo

## Parâmetros do modelo

- O ambiente, bem como as entradas e saídas, podem ser representados através de *strings* de símbolos de comprimento fixo. Um valor numérico pode ser representado através duma *string* contendo o seu valor em binário.

# AG - Algoritmo

- Cada ponto do problema pode ser considerado como um indivíduo de representatividade única no sistema, através duma *string* gerada no ambiente escolhido. A *string* (gene) contém sempre símbolos.
- Em qualquer instante, a população (conjunto de genes) representa o conjunto de soluções do sistema.

# AG - Algoritmo

- O processo inicia-se com uma população escolhida aleatoriamente, não sendo necessária qualquer estratégia adaptativa no que diz respeito ao âmbito do problema.
- É necessária a existência dum mecanismo avaliador da prestação do sistema.
- O tempo é medido em intervalos discretos designados por gerações.



# AG - Algoritmo

## Execução do algoritmo genético típico

1-Do conjunto população, escolher os indivíduos que atinjam resultados considerados satisfatórios no contexto actual. Os candidatos com melhor prestação no mecanismo de avaliação são os escolhidos.

# AG - Algoritmo

- 2-Depois da reprodução, cruzar os indivíduos da população com o objectivo de a aumentar. Aplicar o operador de mutação.
- 3-Avaliar a prestação ou comportamento da nova população.
- 4- Eliminar os mais fracos (de menor prestação) e, eventualmente, voltar ao ponto 2

# Vida Artificial - O que é ?

O estudo da vida artificial (a-life) debruça-se sobre a criação e a evolução de organismos e sistemas semelhantes aos sistemas vivos.

A matéria de que se produz vida artificial é inorgânica e a sua essência é a informação.

⇒ Os computadores são tubos de ensaio nos quais se produzem novos organismos.

# Vida Artificial - Tipos

- Fraca - Consiste em simular comportamentos e tipos de vida que existam na natureza ou diferentes de tudo o que se conhece ( nível de semelhança com a vida real variável)
- Forte - Consiste no desenvolvimento a longo prazo de organismos vivos cuja essência é a informação. (ex: Robots vivos artificiais ou criaturas que vivam dentro dos computadores)

# Mas o que significa estar vivo ?

“ ... a vida tem forçosamente por base a química dos compostos de carbono e deve funcionar num meio aquoso... “ Gerald Feinberg (físico) e Robert Shapiro (biólogo)

“... não existe definição de vida aceite pela generalidade das pessoas ...” Carl Sagan (físico)

# Mas o que significa estar vivo ?

“... duvido que seja possível uma resposta a tais questões no âmbito filosófico...” Elliott Sober (filósofo)

“... Se os cientistas pretendem desenvolver uma ampla teoria da vida, isso vai exigir deles a aceitação de coisas radicalmente inorgânicas como sendo vivas...” Christopher Langton (organizador da primeira conferência sobre vida artificial)

# Mas o que significa estar vivo ?



# **Mas o que significa estar vivo ?**

**As coisas que hoje consideramos vivas são provavelmente um subconjunto de uma classe mais vasta de organismos.**



# Vida Artificial - Prenúncios

- Decartes - “ .. os animais são uma classe de autómatos...”
- Mary Shelley - monstro inventado no seu famoso romance Frankenstein

# Vida Artificial - Prenúncios

- John Von Neuman - máquinas auto-reprodutoras (pai do conceito de Vida Artificial )
- Christopher Langton - argolas auto-reprodutoras (se Von Neuman é considerado o pai da Vida Artificial então Langton é pelo menos o parteiro !! - estabeleceu a Vida Artificial como novo domínio científico)

# Vida Artificial - Nascimento

## “Inter-disciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems”

- Setembro de 1987 - Los Alamos - 1ª Conferência sobre Vida artificial da história
- Foi organizada por Christopher Langton
- Ficou conhecida para história por Alife I
- Acontecimento “mágico” onde ficou pela primeira vez assumida a área científica da Vida Artificial

# Vida Artificial - Para que serve ?

- Para construir agentes inteligentes completamente autônomos
- Para ajudar a compreender a biologia dos seres vivos (simulando a natureza) - Só os sistemas genéticos mais simples podem ser resolvidos analiticamente e as experiências evolucionistas no laboratório estão limitadas a poucas gerações sendo difíceis de controlar e repetir !!!

# Vida Artificial - Para que serve ?

- Para criar novas formas de vida: Faunas Artificiais, Floras Artificiais => Ecologias Artificiais
- Para compreender melhor a natureza "o coração de Deus" ?????

# Vida Artificial - Como construir ?

Exemplo: AntFarm (Robert J. Collins, David R. Jefferson)

## Objectivos:

- Simular o comportamento de formigas na pesquisa de comida e seu carregamento para o ninho, observando a emergência de coordenação e cooperação entre as formigas.

# Vida Artificial - Como construir ?

- Investigar os comportamentos complexos em ambientes complexos, a evolução da cooperação entre diferentes indivíduos e a evolução da comunicação química (fermona).

# Vida Artificial - Como construir ?

## Principais características do modelo exemplo:

- Várias colónias de formigas
- Cada colónia é constituída por um pequeno número de indivíduos geneticamente iguais
- Cada indivíduo tem a possibilidade de viver e reproduzir-se no ambiente, de utilizar sensores (externos e internos) e de tomar diferentes acções em cada momento.



# Vida Artificial - Como construir ?

- O comportamento de cada indivíduo é determinado por uma rede neuronal ANN (artificial neural network)
- Cada formiga tem a capacidade detectar e carregar comida assim como de detectar e largar fermona (química usada pelas formigas para a comunicação)
- Cada genótipo representa as ligações sinápticas e os pesos da ANN do indivíduo

# Vida Artificial - Como construir ?

- A reprodução é feita através do recurso a um algoritmo genético
- Custo associado á procura de comida
- Recompensa associada ao trazer de comida para o ninho

# Vida Artificial - Como construir ?

## AntFarm - Funcionamento

- A evolução no AntFarm é feita em termos colónia (super-organismo) e não por formigas individuais.
- Todas as formigas de uma colónia contribuem para a sua pontuação.
- Cada Colónia tem um único genótipo que codifica as acções de todas as suas formigas

# Vida Artificial - Como construir ?

- Apesar de todos os elementos de uma colónia serem iguais, cada formiga recebe nos sensores informação diferente e por isso pode comportar-se de modo diferente.
- A pontuação/adequação (fitness) é baseada no número de pedaços de comida carregada para o ninho.
- A população inicial é gerada aliatóricamente
- Número de colónias: 16 384

# Vida Artificial - Como construir ?

- Número de formigas por colónia: 128
- Distância entre colónias: 16
- A fermona que é largada pelas formigas vai diminuindo em quantidade lentamente e pode até desaparecer.
- O ninho é sempre colocado no centro da área da colónia (16 X 16)

# Vida Artificial - Como construir ?

- A informação genética de cada colónia é representada por um cromossoma de 25 590 bits
- Todas as formigas vivem até ao fim da sua geração
- Cada unidade de comida perdida custa 1000 pontos
- Cada unidade de fermona largada custa 0.1 pontos

# Vida Artificial - Como construir ?

- Todas as outras acções (mover, agarrar, largar) custam 0.1 pontos
- Em cada 100 unidades de tempo os sensores de inputs e os 21 bits de memória interna são processados pela função comportamento (ANN) e são produzidas acções.

# Vida Artificial - Como construir ?

## Outras características

A rede global consiste em 64 neurónios e 1709 conexões

- Como os pesos de cada conexão são codificados em 3 bits e a origem/destino de cada conexão é codificada com 6 bits, então a rede é especificada com um genoma de 25 590 bits .



# Bibliografia

- Artificial Life II, SFI Studies in the Sciences of Complexity, vol X, Addison-Wesley, 1991
- Beer, R. D “ *Intelligence as Adaptative Behavior: An Experiment in Computacional Neuroethology*” Academic Press, Cambridge Ma, 1990 - (Tese de doutoramento)
- Collins, Robert J.; Jefferson, David R. “*AntFarm: Towards Simulated Evolution*”
- David, L. “ *Genetic Algorithms and Simulated Annealing*” Morgan Kaufmann Publishers, 1987

# Bibliografia

- Langton, C. G. “*Artificial Life*” Addison-Wesley, 1989
- Levy, Steven “*Vida Artificial*”. Publicações Dom Quixote, 1993
- Michalewics Z. “*Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Program*”, Springer Verlag, 1993