



Inteligência Artificial
Prof. Luiz Antonio Ferraro Mathias

Teoria da evolução das Espécies

A Teoria da Evolução das Espécies é creditada ao naturalista britânico Charles Robert Darwin. Uma expedição científica a bordo do navio Beagle seria o despertar de suas ideias sobre a evolução. Essa expedição levaria cinco anos no qual ele navegou pela costa do Pacífico e pela América do Sul. Em todo lugar que parava, recolhia vários tipos de espécies de plantas e animais. Ao retornar à Inglaterra, Darwin iniciou seu estudo sobre a origem e evolução das espécies. Começou a surgir então a doutrina darwinista, ou teoria da seleção natural.

Em 1859 publica o livro "A Origem das espécies por meio da seleção natural" no qual expõe sua ideia sobre a evolução. Sua teoria dizia que as espécies geram descendentes a partir da reprodução. Tais descendentes gerados possuem variações genéticas, ou seja, possuem traços decorridos da hereditariedade, porém não idênticos aos pais. Num ambiente de recursos limitados, os organismos menos adaptados têm menos chance de sobreviver do que os mais adaptados. Sendo assim os mais adaptados acabam gerando mais descendentes e estes então são selecionados para aquele ambiente.

Na teoria Darwinista são identificados cinco pilares no qual ela foi elaborada. Esses cinco pilares são: Evolução dos seres vivos, Ancestral comum, Multiplicação das espécies, Gradualismo e Seleção natural. Nesta mesma teoria:

Teoria da evolução das Espécies

- a. Indivíduos com uma melhor adequação do seu fenótipo ao meio ambiente (fitness melhor) reproduzem mais;
- b. Ao reproduzirem mais, têm mais chances de passar seus genes para a próxima geração;
- c. Entretanto, graças aos operadores genéticos (recombinação e mutação) os cromossomos dos filhos não são exatamente iguais aos dos pais;
- d. Assim, eles podem evoluir e se adaptar cada vez mais ao meio ambiente que os cerca.



Conceitos básicos sobre genética

Segundo o dicionário Aurélio, Genética é a Ciência que estuda a transmissão, de pais a filhos, dos caracteres de hereditariedade.

Segundo Darwin, indivíduos mais adaptados acabam gerando mais descendentes e estes então são selecionados para aquele ambiente. O que Darwin não sabia era que essa tal adaptação era originada da genética, ou seja, transmissões de informações entre pais e filhos.

Foi a partir do século XX, que a genética conheceu o padre Gregor Mendel. Ele descobriu que o conceito de herança vem através de partículas (genes) e não pela mistura do sangue. Essa descoberta não só contribuiu para entender a genética quanto a evolução das espécies.



Conceitos básicos sobre genética

DNA

Cada indivíduo de uma espécie é formado por uma ou mais células. Cada célula possui informações que caracterizam cada indivíduo. Essas informações genéticas ficam armazenadas nas moléculas de DNA ou AND (ácido desoxirribonucléico). O DNA tem uma forma de duas faixas espiraladas, entre as quais existem as moléculas denominadas bases nitrogenadas que as ligam.

A molécula de DNA fica organizada e armazenada em estruturas denominadas de cromossomos que ficam no núcleo das células.



Conceitos básicos sobre genética

Os cromossomos estão sempre em pares, o que acaba variando para cada espécie. O cromossomo é constituído de genes, ou seja, segmento do DNA. Cada posição específica do gene no DNA é denominada de lócus que controla algumas características específicas referente à hereditariedade.

As alterações ocorridas nos cromossomos, tanto em estrutura como em quantidade, podem ocasionar doenças como são os casos da síndrome de Down, síndrome de Turner e síndrome de Klinefelter.

Quando falamos na composição genética que determina as características de um indivíduo estamos falando de genótipo. O genótipo é uma característica fixa, ou seja, que não é alterada por fatores do ambiente.



Conceitos básicos sobre genética

Enquanto o genótipo refere-se à composição genética, o fenótipo refere-se às características físicas de um indivíduo. Por exemplo, duas pessoas com a mesma pigmentação de pele, uma delas se expõem a algumas horas de sol, logo, ao comparar a cor da pele das duas pessoas iremos notar que a que tomou sol está com pigmentação diferente. Na verdade, não é porque ela possui esse tom de pele e sim ela obteve este devido à exposição do sol.

Resumindo, de forma bem simplificada, o fenótipo de um indivíduo nada mais é que a composição do genótipo mais as interações do meio ambiente.



Conceitos básicos sobre genética

Hereditariedade e reprodução

Ao olhar para uma criança que possui olhos verdes, e falar esses olhos são do pai ou da mãe. Na verdade, estamos falando de hereditariedade, a característica olho claro que o pai ou a mãe possui foi passado ao seu filho por meio do material genético no momento da fecundação. **Simplificando, hereditariedade é a transmissão das informações genéticas de pais para filhos durante a reprodução.** (FONSECA, 2008).

Pode-se resumir reprodução como a função que faz com que os indivíduos produzem seus descendentes. Existem dois tipos de reprodução: Assexuada e Sexuada.



Conceitos básicos sobre genética

A reprodução assexuada é aquela que ocorre sem ser por gametas (material genético), ou seja, não ocorre a fecundação. Essa reprodução geralmente é encontrada em bactérias e plantas.

A reprodução sexuada é aquela que ocorre a fecundação, dois indivíduos geralmente de sexo diferentes, trocam seus materiais genéticos. Essa troca de material genético ocorre pela fusão dos gametas, ou o *crossover*. Essa reprodução geralmente é encontrada nos seres humanos (LINDEN, 2008).



Conceitos básicos sobre genética

Operadores genéticos – crossover

Como vimos anteriormente na reprodução sexuada, há troca de material genético entre dois indivíduos podendo assim gerar o *crossover*. Nesse processo inicialmente há a duplicação dos cromossomos, um pedaço de cada cromossomo é trocado com outro pedaço de outro cromossomo. São gerados assim quatro novos cromossomos que serão separados e enviados aos gametas.



Conceitos básicos sobre genética

Operadores genéticos – mutação

No processo de reprodução, devido à sua complexidade, podem ocorrer alguns erros, denominados de mutação que ocorrem quando há um dano na sequência de nucleotídeo do DNA. E esses danos são irreparáveis e assim repassando na sua replicação. A outra forma de ocorrência da mutação acontecer é quando há modificação dos genes e os cromossomos sofrem alterações em seus números ou sua estrutura.



Algoritmos Evolucionários

Os Algoritmos evolucionários usam modelos computacionais dos processos naturais de evolução como uma ferramenta para resolver problemas. Há uma grande variedade de modelos computacionais. Em comum:

- a. Conceito de simulação da evolução das espécies
- b. Uso de operadores de seleção, mutação e reprodução**
- c. Todos os processos dependem do "desempenho" dos indivíduos desta espécie dentro do "ambiente";
- d. Mantêm uma população de estruturas, denominadas indivíduos ou cromossomos
- e. Comportam-se de forma semelhante à evolução das espécies;
- f. A estas estruturas são aplicados os chamados operadores genéticos, como recombinação e mutação, entre outros;



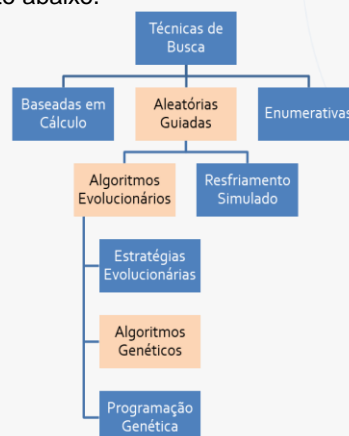
Algoritmos Evolucionários

- g. Cada indivíduo recebe uma avaliação que é uma quantificação da sua qualidade como solução do problema em questão;
- h. Baseado nesta avaliação serão aplicados os operadores genéticos de forma a simular a sobrevivência do mais apto;
- i. São extremamente dependentes de fatores estocásticos (probabilísticos), tanto na fase de inicialização da população quanto na fase de evolução (durante a seleção dos pais, principalmente);
- j. Seus resultados raramente sejam perfeitamente reprodutíveis;
- k. São heurísticas que não asseguram a obtenção do melhor resultado possível em todas as suas execuções.



Os Algoritmos Genéticos no contexto da IA

Os algoritmos genéticos são um ramo da computação evolucionária e fazem parte do universo das técnicas de busca conforme exposto abaixo.



História dos Algoritmos Genéticos

A história dos algoritmos genéticos teve seu início a partir da década de 40 com cientistas que utilizavam a natureza para criar um ramo na inteligência artificial. Várias foram as contribuições para a história dos algoritmos genéticos, dentre eles podemos citar: Bledsoe, Bremmerman, Rechenberg. Porém em 1975 foi que o professor John Holland propõe a ideia de algoritmos genéticos.



Ele define como princípio os processos da evolução das espécies juntamente com o algoritmo computacional a fim de solucionar problemas que possuam um alto índice de dificuldade. A partir dos anos 80 a ideia sobre algoritmos genéticos começou a ser propagada dentro da comunidade científica.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Os algoritmos genéticos formam um ramo da Inteligência Artificial chamada de Computação Evolutiva. Inspirados no processo genético e evolutivo de organismos vivos, **simulam processos naturais e aplicando-os à solução de problemas reais, com base na ideia darwiniana de seleção.**

O AG é indicado para a solução de problemas de otimização complexos que envolve um número elevado de variáveis e, consequentemente, espaços de soluções de dimensões elevadas. Além disso, em muitos casos em que outras estratégias de otimização falham na busca de uma solução, os AG's convergem. Os AG's são numericamente robustos, ou seja, não são sensíveis a erros de arredondamento no que se refere aos seus resultados. Trabalham com uma população de indivíduos, cada qual representando uma solução de determinado problema.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

A cada indivíduo se associa a um grau de aptidão, o que determina sua capacidade de competir com os demais membros da população. Quanto maior a sua aptidão, maior a probabilidade do mesmo ser selecionado para se reproduzir, cruzando seu material genético com o de outro indivíduo selecionado de igual forma. Este cruzamento produzirá novos indivíduos – descendentes dos anteriores – os quais compartilham algumas características de seus pais.

Quanto menor for o grau de aptidão, menor será sua probabilidade de ser selecionado para reprodução e, conseqüentemente, que o material genético se propague por sucessivas gerações.

Dessa forma, se produz uma nova população de possíveis soluções, a qual substitui a anterior por possuir características mais promissoras em relação à população ótima.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Assim, ao longo das gerações, as boas características se propagam, favorecendo desta forma, a exploração das áreas mais promissoras do espaço de busca. Sendo os AGs bem projetados, as chances de se obter o ótimo global par ao problema em questão são excelentes.

O poder dos AGs provém do fato de se tratar de uma técnica robusta, podendo manipular com êxito uma grande variedade de problemas provenientes das mais diferentes áreas, incluindo aqueles que os outros métodos encontram dificuldades para resolver.

Apesar de não garantir que os AGs encontrem a solução ótima do problema, existem evidências empíricas que respostas aceitáveis podem ser obtidas em um tempo real bastante razoável.

Basicamente, os AGs tratam problemas de otimização como um processo iterativo de busca da melhor solução dentro do espaço de possíveis respostas para o problema.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

População

Quando trabalhamos com os AGs, o primeiro passo que devemos realizar é a definição de uma população inicial. Ela é geralmente formada por indivíduos que são escolhidos de forma aleatória. Um fato importante que devemos levar em consideração é o tamanho desta população. Populações muito pequenas impossibilitam a variedade genética. Populações muito grandes ocasionam um algoritmo lento.

Segundo Linden, não há uma definição da melhor população. Ele sugere adotar uma população cujo tamanho varie com o tempo, que haja variedade genética e esteja de acordo com a idade. Dentre a definição da população inicial existem técnicas que auxiliam na geração de novas gerações de indivíduos melhores. Como por exemplo, o Elitismo e *Steady state*. O Elitismo consiste na permanência dos melhores indivíduos para uma próxima geração. O conceito *Steady state* é baseado na forma que nós utilizamos para geração de novas gerações, ou seja, não é gerada uma nova população de uma só vez e sim os filhos são gerados um de cada vez substituindo assim os piores pais pelos novos filhos aos poucos.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Função de avaliação

Também conhecida como Função de Custo, a função de avaliação é aplicada após a identificação da população inicial. Seu objetivo é avaliar a qualidade em que um indivíduo da população age sobre o problema relacionado. Quanto melhor é a solução que um indivíduo utiliza, melhor será a sua avaliação.

A função de avaliação deve ser definida com os objetivos pelo qual o algoritmo genético está sendo aplicado de forma bem clara. Assim como as restrições e as punições para os indivíduos que as desrespeitam.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Tipos de Seleção

O método de seleção é aquele utilizado para selecionar os pais mais aptos para que possam gerar os seus filhos. Um dos métodos mais utilizados é o da roleta viciada.

A roleta viciada funciona da seguinte maneira: é criada uma roleta virtual, dividida em pedaços. Cada pedaço é de acordo com a avaliação dos indivíduos. A roleta é rodada e o indivíduo selecionado será aquele em que a roleta sobre o qual para no respectivo pedaço.

Existem outros tipos de seleção como: método de Torneio, Método de Seleção por ranking e Seleção truncada.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

O método de seleção por torneio é realizado da seguinte forma: é formado um grupo com determinados indivíduos que utilizam o seu grau de avaliação para competirem entre si.

No método de Seleção por Ranking, ocorre a ordenação dos indivíduos de uma população pelo grau de aptidão. Cada indivíduo recebe um novo valor referente à sua posição no ranking. É feito então a seleção dos melhores indivíduos conforme sua posição no ranking.

No método de seleção Truncada são ordenados os indivíduos de forma decrescente de acordo com o grau de aptidão. Os indivíduos selecionados serão aqueles que estiverem entre 1 e o ponto de corte.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Operadores Genéticos

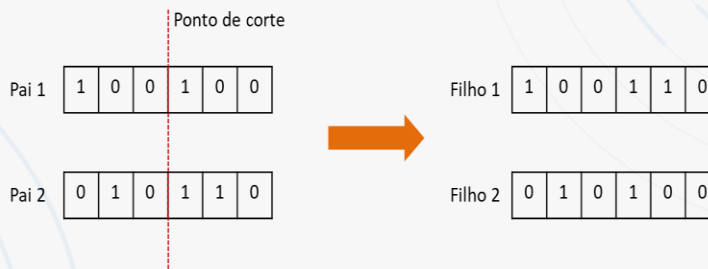
Os operadores genéticos são operadores que possuem como objetivo a transformação de uma população durante suas gerações. Ou seja, gerar uma nova população diferente da que já existia.

Há uma grande variação de operadores genéticos os mais comuns são: Cruzamento (crossover), Mutação, Inversão e Elitismo.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

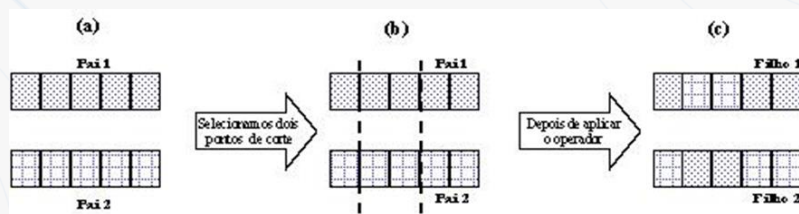
Crossover simples - Após a seleção dos pais pelo módulo de seleção é definido um ponto de corte, ou seja, posição entre dois genes do cromossomo e feita a separação dos pais a partir do ponto de corte. Feito isso é feita a junção dessas partes, ou seja, temos 2 pais divididos entre 2 partes.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Crossover de dois pontos - o crossover de 2 (dois) pontos tem a seguinte regra de funcionamento.

- Sorteamos dois pontos de corte;
- O primeiro filho será então formado pela parte do primeiro pai fora dos pontos de corte e pela parte do segundo pai entre os pontos de corte;
- O segundo filho será formado pelas partes restantes.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Exemplo:

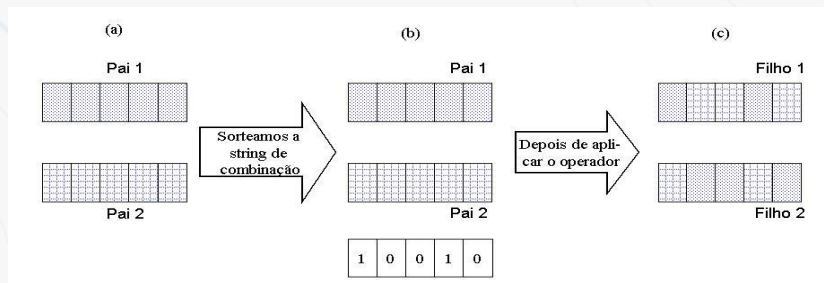
- Suponha que temos dois pais de tamanho 10, dados respectivamente pelas strings 0101010101 e 1111000011;
- Sorteamos os pontos de corte 4 e 8;
- Primeiro filho será dado, então, por:
 - A parte do primeiro pai até o ponto de corte 4 (0101);
 - A parte do segundo pai entre o ponto de corte 4 e o ponto de corte 8 (0000);
 - A parte do primeiro pai localizada após o ponto de corte 8 (01);

No final, o valor deste filho será **0101000001**.

Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

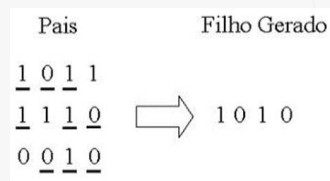
Crossover uniforme - o crossover uniforme tem a seguinte regra de funcionamento:

- Para cada gene é sorteado um número zero ou um;
- Se sortearmos um, primeiro filho recebe gene da posição corrente do primeiro pai e o outro, o do segundo pai;
- Se o valor sorteado for zero, as atribuições serão invertidas.

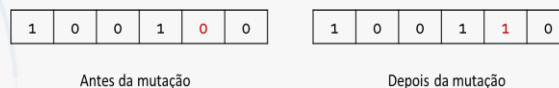


Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Crossover baseado em maioria - não muito usado pois tende a fazer com que a convergência genética ocorra rapidamente. Operação básica: sortear “n” pais; cada bit do filho seja igual ao valor da maioria dos pais selecionados.

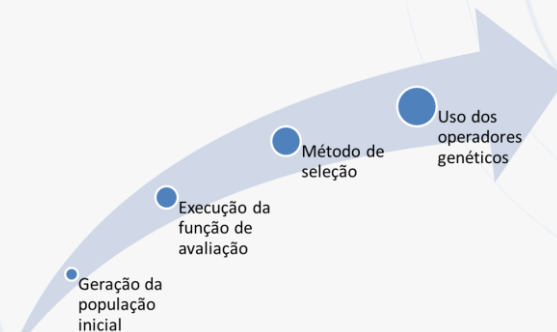


Crossover de mutação - O operador de mutação é definido, geralmente, depois da geração dos filhos. É definido uma probabilidade, por exemplo, de 0,5%. É sorteado então para cada gene um número entre 0 e 1. Caso o valor sorteado seja menor que a probabilidade, ou seja, 0,5% ele atua sobre o gene, o alterando. Abaixo segue uma representação de mutação.



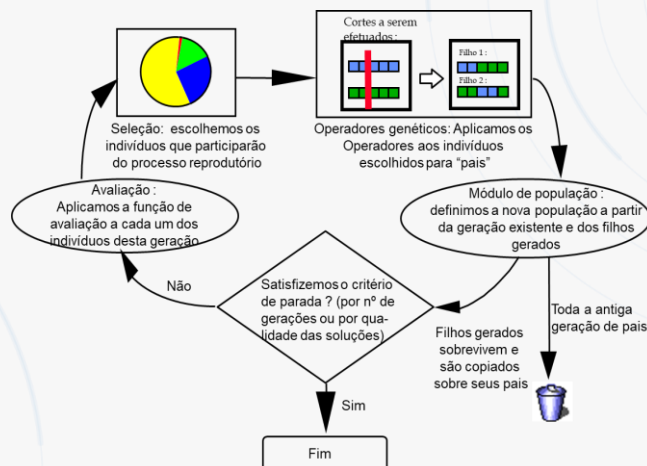
Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Em resumo, as etapas do processo compreender as seguintes atividades:



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Na figura abaixo é possível verificar o esquema de um algoritmo genético:



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Basicamente, o esquema pode ser resumido, algoritmicamente, através dos seguintes passos:

- Inicialize a população de cromossomos;
- Avalie cada cromossomo na população;
- Selecione os pais para gerar novos cromossomos;
- Aplique os operadores de recombinação e mutação a estes pais de forma a gerar os indivíduos da nova geração;
- Apague os velhos membros da população;
- Avalie todos os novos cromossomos e insira-os na população;
- Se o tempo acabou, ou o melhor cromossomo satisfaz os requerimentos e desempenho, retorne-o, caso contrário volte para o passo c).



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Exemplo de um Algoritmo Genético

Problema: Encontrar o valor máximo para $F(x) = x^2$, sendo que $0 \leq x \leq 60$.

Representação da solução: são selecionados alguns indivíduos de forma aleatória: 36, 18, 22 e 1. Para a representação destes, transformamos o número decimal para número binário:

Decimal	Binário
36	100100
18	010010
22	010110
1	000001



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Após definir nossa população, devemos aplicar a função de aptidão que no nosso exemplo é x^2 . Abaixo segue uma tabela indicando a função de aptidão correspondente a cada indivíduo em questão.

Decimal	Binário	Aptidão (x^2)
36	100100	1296
18	010010	324
22	010110	482
1	000001	1



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Após a aplicação da função de aptidão, selecionados os pais para darmos continuação na evolução da população. No nosso caso o método de seleção que utilizaremos será o de **Seleção por Ranking**. Vamos atribuir um novo valor para cada indivíduo da população de acordo com o seu grau de aptidão conforme podemos verificar na tabela abaixo:

Decimal	Binário	Aptidão (x^2)	Ranking
36	100100	1296	1
18	010010	324	3
22	010110	482	2
1	000001	1	4



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Após listarmos por ordem crescente os melhores indivíduos da população, vamos selecionar os dois melhores do ranking (100100 e 010110) para serem os pais que geram novos indivíduos. Para isto, serão aplicados os operadores genéticos (nesse caso utilizaremos o *crossover* simples e *mutação*). Abaixo podemos identificar a representação desse cruzamento.



Conceitos sobre Algoritmos Genéticos

Após realizarmos o *crossover* simples iremos representar a *mutação* que ocorrerá em um dos filhos gerados, no caso vamos utilizar o filho 1.



Acima representamos o processo de evolução de uma população, o qual se repetirá até chegarmos a uma solução ótima para o problema relacionado, no caso o valor máximo que a função $f(x) = x^2$ pode ter.



Aplicações com Algoritmos Genéticos

Síntese de circuitos analógicos: para uma certa entrada e uma saída desejada, por exemplo tensão, o AG gera a topologia, o tipo e o valor dos componentes do circuito;

Síntese de protocolos: determinação de quais funções do protocolo devem ser implementadas em hardware e quais devem ser implementadas em software para que um certo desempenho seja alcançado;

Programação Genética: gera a listagem de um programa, numa determinada linguagem especificada, para que um determinado conjunto de dados de entrada forneça uma saída desejada;

Gerenciamento de redes: supervisão do tráfego nos links e das filas nos "buffers" de roteadores para descobrir rotas ótimas e para reconfigurar as rotas existentes no caso de falha de algum link;

Computação Evolutiva: gera programas que se adaptam a mudanças no sistema ao longo do tempo;



Aplicações com Algoritmos Genéticos

Otimização evolutiva multicritério: otimização de funções com múltiplos objetivos que sejam conflitantes;

Problemas de otimização complexos: problemas com muitas variáveis e espaços de soluções de dimensões elevadas. Ex: problema do caixeiro viajante, gerenciamento de carteiras de fundos de investimento;

Ciências biológicas: modela processos biológicos para o entendimento do comportamento de estruturas genéticas;

Autômatos auto programáveis

Engenharia em Construções: os AG's têm ganhado aceitação em um elevado número de problemas de engenharia. Uma aplicação é na otimização discreta de estruturas;



Aplicações com Algoritmos Genéticos

Compressão de Dados: a compressão de dados em geral, e a compressão de imagens sólidas em particular. Esta aplicação consiste em encontrar um método que utiliza os AG's para encontrar um sistema de funções locais iteradas (LIFS) para a codificação de imagens. Produzindo como resultado uma imagem com qualidade similar a utilização do método convencional de compressão fractal, com um tempo 30% menor;

Redes Neurais: alguns autores têm buscado encontrar uma relação entre RNA's e AG's. De alguma maneira eles tentam criar um correlacionamento com o processo de aprendizagem em Redes Neurais. Eles têm estudado problemas de otimização relacionados com a busca de funções lineares discriminantes em problemas de classificação.