

Fernando B. de Lima Neto
Carmelo J. A. Bastos Filho

Computação Evolucionária

SPIN Springer's internal project number, if known

24 de abril de 2010

Springer

Berlin Heidelberg New York
Hong Kong London
Milan Paris Tokyo

Sumário

1	Algoritmos Culturais	1
1.1	A Inspiração Natural	1
1.2	Algoritmo Cultural Básico	2
1.3	Espaço de Crenças	4
1.3.1	Componentes de Conhecimento	4
1.3.2	Funções de Aceitação	5
1.3.3	Ajustando o espaço de crenças	6
1.3.4	Funções de Influência	6
1.4	Aplicações	7
	Referências	9

Algoritmos Culturais

Os algoritmos evolucionários padrões têm sido amplamente aplicados na resolução de problemas complexos de busca e otimização. O processo de busca nesses algoritmos praticamente não faz uso de informações a respeito do domínio de aplicação ou do problema em questão. Entretanto, a eficiência e a eficácia desses algoritmos pode ser melhorada significativamente se informações sobre o domínio de aplicação forem utilizados para guiar o processo de busca. A ideia é que ao fazer uso de informações disponíveis, possa-se evitar que regiões indesejadas do espaço de busca e que aquelas sabidamente mais promissoras sejam melhor exploradas.

A Evolução Cultural (EC), inspirada nos princípios da evolução social humana, foi proposta por Reynolds [4] como uma estratégia para guiar o processo de busca a partir de informações prévias sobre o domínio ou adquiridas ao longo do processo evolucionário.

A computação evolucionária é inspirada na evolução biológica, baseada na herança genética. Entretanto, em sistemas naturais o processo evolucionário, apesar de extremamente robusto e estável, é um mecanismo lento. Por outro lado, a evolução cultural permite que as sociedades se adaptem rapidamente a mudanças ambientais.

O presente capítulo está organizado da seguinte forma: Uma breve descrição da inspiração natural é dada na Seção 1.1. Já a Seção 1.2 traz uma definição geral de um Algoritmo Cultural e seus operadores e mecanismos. Por fim, na Seção 1.4, são apresentadas possíveis aplicações dos Algoritmos Culturais.

1.1 A Inspiração Natural

Na literatura é possível encontrar diversas definições do que é *Cultura* onde conceituação é feita sob diferentes pontos de vista, como por exemplo¹:

¹<http://www.tamu.edu/classes/cosc/choudhury/culture.html>

- Cultura é um sistema de fenômenos conceituais simbolicamente codificados, transmitidos social e historicamente intra e intergrupos sociais.[2]
- Cultura refere-se a ao depósito cumulativo de conhecimentos, experiências, crenças, valores, atitudes, significados, hierarquias, religiões, noções temporais, regras, relações espaciais, cosmovisões, objetos materiais e posses adquiridas por um grupo de pessoas ao longo das gerações como resultado dos esforços individuais e coletivos.
- Cultura é a soma de todos de todos os comportamentos aprendidos por um grupo de pessoas geralmente considerados como a tradição daquele povo e transmitido de geração a geração.
- Cultura é a programação mental coletiva que distingue uns dos outros os membros de um grupo ou categoria de pessoas.

No contexto da computação evolucionária, a cultura é modelada como a fonte de que irá influenciar o comportamento de todos os indivíduos em uma população.[5] Em algoritmos culturais, a cultura armazena os traços comportamentais de uma população e as informações culturais estarão disponíveis a todos os indivíduos ao longo das gerações.

1.2 Algoritmo Cultural Básico

Um Algoritmo Cultural (AC) é um sistema de dupla herança onde dois espaços de busca são mantidos: o espaço da população (representando o componente genético) e um espaço de crenças (representando a componente cultural). O que irá diferenciar os Algoritmos Culturais das demais técnicas de computação evolucionária será exatamente esse último.

O espaço de crenças modela a informação cultural enquanto o espaço da população representa os indivíduos no nível genético e fenotípico. Ambos os espaços de população e de crenças evoluem paralelamente com um influenciando o outro. Essa interação e influência mútua será possível de acontecer a partir de dois protocolos de comunicação. Um para selecionar uma parte dos indivíduos que influenciarão as alterações no espaço de crenças e outro para determinar como o espaço de crenças irá modificar o comportamento de toda a população.[3]

Algoritmo 1.1: Algoritmo Cultural

Define o contador de gerações, $t = 0$;
 Cria e inicializa o espaço de população, $\mathcal{C}(0)$;
 Cria e inicializa o espaço de crenças, $\mathcal{B}(0)$;
repita
 Avalie o *fitness* para cada $x_i(t) \in \mathcal{C}(t)$;
 Ajuste ($\mathcal{B}(t)$, Aceita ($\mathcal{C}(t)$));
 Varie ($\mathcal{C}(t)$, Influencia($\mathcal{B}(t)$));
 $t = t + 1$;
 Seleciona nova população;
até Até alcançar critério de parada;

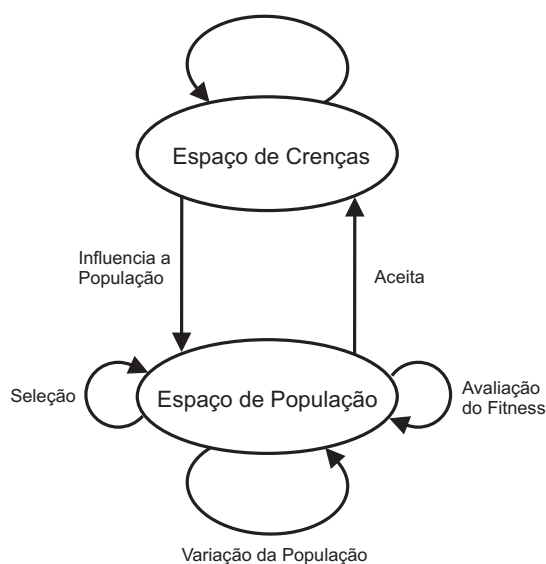


Figura 1.1: Ilustração dos Espaços de Crença e da População em Algoritmos Culturais

A cada iteração (i.e. geração), os indivíduos são inicialmente avaliados usando a função de *fitness* especificada para o algoritmo evolucionário usado no nível de população. Uma função de *aceitação* é então usada para determinar quais indivíduos presentes na população atual terão influência sobre as crenças atuais. A experiência dos indivíduos aceitos será então utilizada para *ajustar* as crenças, simulando assim a evolução cultural. Após o ajuste das crenças, essas serão usadas para *influenciar* a evolução da população. Os operadores de cruzamento e mutação usarão as crenças para controlar as mudanças nos indivíduos.

A busca no espaço de população é feito através de algum algoritmo evolucionário (e.g. algoritmo genético). A seção a seguir descreverá os detalhes do espaço de crenças.

1.3 Espaço de Crenças

O espaço de crenças funciona como um repositório de conhecimentos, onde o comportamento coletivo dos indivíduos no espaço de população é armazenado. O espaço de crenças é também referido como *repositório de memes*. O conceito de *meme* foi proposto por Richard Dawkins [1] como uma unidade de informação transmitida por meios comportamentais. O meme está para a evolução cultural assim como o gene está para a evolução genética. Os memes em um espaço de crenças representam generalizações das experiências dos indivíduos em uma população. Essas generalizações são acumuladas e moldadas com o passar das gerações e não apenas em uma única geração e expressam a crença do que seria o comportamento ótimo dos indivíduos.

O espaço de crenças pode ser usado efetivamente para podar o espaço de população, evitando regiões indesejáveis do espaço de busca e promovendo aquelas regiões mais promissoras.

Para que haja de fato a evolução paralela dos dois espaços de busca, é necessário que haja um protocolo de comunicação para transferir a informação do espaço de população para o espaço de crenças e vice-versa. Esse protocolo especifica a operação que controla a influência dos indivíduos sobre o espaço de crenças bem como a influência que o espaço de crenças terá no processo evolutivo no nível da população. Isso irá permitir que os indivíduos determinem sua cultura, possibilitando sua evolução. Por outro lado, a informação cultural é usada para direcionar a evolução no nível da população em direção para áreas promissoras do espaço de busca.

Vários algoritmos culturais foram desenvolvidos com diferentes: (i) estruturas de dados para modelar o espaço de crenças, (ii) algoritmos evolucionários usados no espaço de população e (iii) implementações dos protocolos de comunicação. A Seção 1.3.1 apresenta uma visão geral dos diferentes componentes do conhecimento no espaço de crenças. As funções de aceitação e influência serão descritas nas seções 1.3.2 e 1.3.4 respectivamente.

1.3.1 Componentes de Conhecimento

O espaço de crenças contém um determinado número de componentes de conhecimento para representar os padrões comportamentais dos indivíduos de um espaço de população. Os tipos de conhecimento e as estruturas de dados usadas para representar o conhecimento dependem do problema a ser atacado. Para problemas de otimização de funções é comum utilizar uma representação vetorial.

Em geral, o espaço de crenças possui duas componentes de conhecimento:

Uma componente situacional de conhecimento que irá armazenar as melhores soluções em cada iteração.

Uma componente normativa de conhecimento, que provê padrões para o comportamento dos indivíduos, usadas como guias para os ajustes mutacionais dos indivíduos. Em otimização de funções, a componente normativa mantém um conjunto de intervalos, um para cada dimensão do problema. Esses intervalos delimitam as regiões tidas como boas em cada dimensão.

Se apenas essas duas componentes são usadas, o espaço de crenças será representado como a tupla,

$$\mathcal{B}(t) = (\mathcal{S}(t), \mathcal{N}(t)) \quad (1.1)$$

onde $\mathcal{S}(t)$ representa a componente situacional e $\mathcal{N}(t)$ representa a componente normativa. A componente situacional é o conjunto de todas as melhores soluções,

$$\mathcal{S}(t) = \{\hat{y}_l(t) : l = 1, \dots, n_s\} \quad (1.2)$$

e a componente normativa é representada como

$$\mathcal{N}(t) = (\mathcal{X}_1(t), \mathcal{X}_2(t), \dots, \mathcal{X}_{n_x}(t)) \quad (1.3)$$

onde, para cada dimensão, a seguinte informação é armazenada:

$$\mathcal{X}_j(t) = (\mathcal{I}_j(t), L_j(t), U_j(t)) \quad (1.4)$$

com \mathcal{I}_j representa o intervalo fechado $\mathcal{I}_j(t) = [x_{min,j}(t), x_{max,j}(t)] = \{x : x_{min,j} \leq x \leq x_{max,j}\}$, $L_j(t)$ é o *fitness* para o limite inferior e $U_j(t)$ é o *fitness* para o limite superior.

Os tipos de componentes de conhecimento e a maneira com que o conhecimento é representado tem uma influência nas funções de aceitação e influência, conforme discutido nas próximas seções.

1.3.2 Funções de Aceitação

A função de aceitação determina quais indivíduos da população atual serão usados para moldar as crenças de toda a população. Métodos estáticos definem um *ranking* a partir do valor do *fitness*, para selecionar os $n\%$ melhores indivíduos. Quaisquer dos métodos de seleção usados para algoritmos evolucionários podem ser usados, tais como elitismo, roleta etc. desde que o número de indivíduos permaneça constante.

Métodos dinâmicos ao invés de fixarem o número de indivíduos, variam esse número de geração a geração. Uma forma de determinar dinamicamente o número de indivíduos selecionados pode ser feita a partir de

$$n_B(t) = \left\lceil \frac{n_s \gamma}{t} \right\rceil \quad (1.5)$$

com $\gamma \in [0, 1]$. Assim, o número de indivíduos usados para ajustar o espaço de crenças é inicialmente grande e vai reduzindo exponencialmente ao longo do tempo.

1.3.3 Ajustando o espaço de crenças

Nessa seção será assumido que o problema a ser resolvido é a minimização de uma função contínua sem restrição.

Com o número de indivíduos aceitos conhecido, $n_{\mathcal{B}(t)}$, as duas componentes de conhecimento podem ser atualizadas da seguinte forma:

- **Conhecimento situacional:** Assumindo que apenas um elemento é mantido na componente de conhecimento situacional,

$$\mathcal{S}(t+1) = \{\hat{y}(t+1)\} \quad (1.6)$$

onde

$$\hat{y}(t+1) = \begin{cases} \min_{l=1, \dots, n_{\mathcal{B}(t)}} \{x_l(t)\} & \text{se } f(\min_{l=1, \dots, n_{\mathcal{B}}} \{x_l(t)\}) < f(\hat{y}(t)) \\ \hat{y}(t) & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1.7)$$

- **Conhecimento normativo:** Ao ajustar a componente de conhecimento normativo, uma abordagem conservadora é adotada no momento de reduzir os intervalos. Essa medida é adotada com o objetivo de retardar a exploração prematura. A ampliação dos intervalos é aplicada mais rapidamente. A regra de atualização dos intervalos é:

$$x_{\min,j}(t+1) = \begin{cases} x_{lj}(t) & \text{se } x_{lj} \leq x_{\min,j}(t) \text{ ou } f(x_l(t)) < L_j(t) \\ x_{\min,j}(t) & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1.8)$$

$$x_{\max,j}(t+1) = \begin{cases} x_{lj}(t) & \text{se } x_{lj} \geq x_{\max,j}(t) \text{ ou } f(x_l(t)) < U_j(t) \\ x_{\max,j}(t) & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1.9)$$

$$L_j(t+1) = \begin{cases} f(x_l(t)) & \text{se } x_{lj}(t) \leq x_{\min,j}(t) \text{ ou } f(x_l(t)) < L_j(t) \\ L_j(t) & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1.10)$$

$$U_j(t+1) = \begin{cases} f(x_{lj}(t)) & \text{se } x_{lj}(t) \geq x_{\max,j}(t) \text{ ou } f(x_l(t)) < U_j(t) \\ U_j(t) & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1.11)$$

para cada $x_l(t), l = 1, \dots, n_{\mathcal{B}(t)}$.

1.3.4 Funções de Influência

Crenças são usadas no ajuste dos indivíduos espaço de população de modo a aproximá-los das crenças globais. Os ajustes são realizados através da função de influência. Nesta seção, assume-se que o algoritmo evolucionário usado para a busca no espaço de população é Programação Evolucionária.

O espaço de crenças é usado para determinar o passo de mutação e a direção do movimento (i.e. se o passo será adicionado ou subtraído). Reynolds e Chung [6] propuseram quatro maneiras de se utilizar as componentes de conhecimento na aplicação das funções de influência.

- Apenas a componente normativa é utilizada para determinar o tamanho dos passos na geração dos decendentes:

$$x'_{ij}(t) = x_{ij} + tamanho(\mathcal{I}_j(t))N_{ij}(0,1) \quad (1.12)$$

onde

$$tamanho(\mathcal{I}_j(t)) = x_{max,j}(t) - x_{min,j}(t) \quad (1.13)$$

é o tamanho do intervalo de crenças para a componente j .

- Somente a componente situacional é usada para determinar a direção da mudança:

$$x'_{ij}(t) = \begin{cases} x_{ij}(t) + |\sigma_{ij}(t)N_{ij}(0,1)| & \text{se } x_{ij}(t) < \hat{y}(t) \in \mathcal{S}(t) \\ x_{ij}(t) - |\sigma_{ij}(t)N_{ij}(0,1)| & \text{se } x_{ij}(t) > \hat{y}(t) \in \mathcal{S}(t) \\ x_{ij}(t) + \sigma_{ij}(t)N_{ij}(0,1) & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1.14)$$

onde σ_{ij} é o parâmetro de estratégia do algoritmo de programação evolucionária associado à componente j do indivíduo i .

- A componente normativa é usada para determinar a direção da mudança e a componente situacional é usada para determinar o tamanho do passo. A Equação 1.14 é usada mas com:

$$\sigma_{ij}(t) = tamanho(\mathcal{I}(t)) \quad (1.15)$$

- A componente normativa é usada tanto para o tamanho do passo quanto para a sua direção:

$$x_{ij}(t) = \begin{cases} x_{ij}(t) + |tamanho(\mathcal{I}(t))N_{ij}(0,1)| & \text{se } x_{ij}(t) < x_{min,j}(t) \\ x_{ij}(t) - |tamanho(\mathcal{I}(t))N_{ij}(0,1)| & \text{se } x_{ij}(t) > x_{min,j}(t) \\ x_{ij}(t) + \beta tamanho(\mathcal{I}(t))N_{ij}(0,1) & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1.16)$$

onde β é um coeficiente de escala.

1.4 Aplicações

Algoritmos Culturais têm sido aplicados para resolver uma grande quantidade de problemas de diferentes classes, desde árvores de decisão, otimização de funções reais, otimização de redes semântica, teste de software entre outros.

Referências

- [1] R Dawkins. The selfish gene (New ed.). 1976.
- [2] WH Durham. Coevolution: Genes, culture, and human diversity. 1992.
- [3] A.P. Engelbrecht. *Computational intelligence: An introduction*. Wiley, 1st edition, 2007.
- [4] R.G. Reynolds. Version space controlled genetic algorithms (VGA). *Proceedings. The Second Annual Conference on AI, Simulation and Planning in High Autonomy Systems*, pages 6–14, 1991. doi: 10.1109/AI-HAS.1991.138440.
- [5] R.G. Reynolds. An introduction to cultural algorithms. In *Proceedings of the Third Annual Conference on Evolutionary Programming*, pages 131–139. Rvier Edge, New Jersey: World Scientific Publishing, 1994.
- [6] RG Reynolds and CJ Chung. Knowledge-based self-adaptation in evolutionary programming *IEEE International Conference on Evolutionary* . . . , 1997.