

Marcos Álvares

Computação evolucionária

– Co-evolução –

April 24, 2010

Springer

Berlin Heidelberg New York

Hong Kong London

Milan Paris Tokyo

Contents

1	Co-evolução	1
1.1	Inspiração Natural	1
1.2	Co-evolução por Competição	3
1.2.1	Mecanismos de Amostragem	3
1.2.2	Fitness Co-evolucionário Competitivo	4
1.3	Co-Evolução por Cooperação	5
1.4	Aplicações	5
1.5	Conclusões	6

Co-evolução

Na natureza co-evolução corresponde a evolução complementar de duas espécies. Esse estudo foi iniciado por John Holland em seu livro "*Explorations of Evolution in a Miniature World*" [X]REFERENCIA[X] onde estudou a relação co-evolucionária entre as flores e os insetos. A evolução no sistema flor e inseto ocorre de forma cooperativa, onde o inseto necessita do pólen da flor para sua alimentação e a flor precisa do inseto para reprodução. Ambas as espécies evoluíram ao decorrer do tempo de forma que o trabalho da outra seja facilitado, já que o sucesso de uma determinada espécie implica em um *feedback* para todo o sistema.

Diferentemente de outras técnica evolucionárias, co-evolução representa um mecanismo evolucionário que pode ser aplicado as técnicas de computação natural baseadas em populações (algoritmos genéticos, programação genética, Otimização por Enxames de Partículas). O diferencial de aplicação de uma técnica que usa mecanismo de co-evolução vai variar de acordo com o problema abordado. Mecanismos de co-evolução geralmente resolvem bem problemas complexos, que existe dois ou mais objetivos a serem cumpridos simultaneamente e esses objetivos possuem um relacionamento.

Em problemas em que dois sistemas mantêm um relacionamento entre si, no qual mudanças em um dos sistemas acabam provocando mudanças no outro, como acontece em jogos, por exemplo, os conceitos de co-evolução podem ser aplicados naturalmente. Muitos trabalhos, utilizaram os conceitos de co-evolução para o desenvolvimento de jogadores automáticos de jogos. Além disso, muitas aplicações de co-evolução estão relacionadas ao desenvolvimento de estratégias para o Dilema do Prisioneiro Iterativo.

1.1 Inspiração Natural

Quando duas espécies próximas funcionam em conjunto, com uma dependência mútua para solução dos seus problemas particulares, então há co-evolução. Essa co-evolução nem sempre é colaborativa, existem casos em que a competição leva a evolução de ambas as espécies.

Na natureza encontramos diversos exemplos de aplicação de mecanismos co-evolucionários com sucesso. Um dos principais exemplos é o Crocodilo e o Pássaro palito 1.1. O crocodilo, apesar de estar no topo da cadeia alimentar, aprendeu que não deve ter como presa o pássaro palito já que este limpa seus dentes de parasitas. Já o pássaro evoluiu ao decorrer do tempo para um bico cada vez mais adequado para alcançar a sua alimentação entre os dentes dos crocodilos.



Fig. 1.1. Exemplo de co-evolução cooperativa entre um Crocodilo e o Pássaro Palito

Outro exemplo encontrado na natureza é o caso das flores e dos insetos, em especial a Orquídea Abelha 1.2 que evoluiu o seu Gineceu para uma forma parecida a de uma abelha fêmea, atraindo assim outras abelhas e facilitando sua reprodução.



Fig. 1.2. Exemplo de evolução causada por mecanismo co-evolucionário na Orquídea Abelha

Os mecanismos co-evolucionários estão divididos em duas principais classes: cooperativos e competitivos. Dentro dos mecanismos competitivos podemos encontrar as seguintes sub-classes:

- **Competição:** Onde ambas as espécies são inibidas;
- **Amensalismo:** Onde uma das espécies é inibida e a outra não é afetada;

Para o mecanismo de co-evolução baseado em cooperação possuímos as seguintes sub-classes:

- **Mutualismo:** Onde ambas as espécies são beneficiadas. Há uma geração de *feedback* positivo, por parte de cada espécie, para todo o sistema;
- **Comesalismo:** Onde apenas uma das espécies é beneficiada e a outra não é afetada;
- **Parasitismo:** Onde uma das espécies é beneficiada e a outra é prejudicada;

Para que ocorra co-evolução deve haver evolução de todas as espécies envolvidas no sistema, independentemente dessa espécie está sendo beneficiada ou não.

1.2 Co-evolução por Competição

Na co-evolução competitiva (predador-presa) ou CCE para sermos breves, duas espécies se desenvolvem simultaneamente. Nesta abordagem, indivíduos de uma população representam soluções para o problema, enquanto os indivíduos da outra representam os casos de teste. Neste sentido, os indivíduos da população de soluções procuram resolver o maior número de casos de teste possíveis, enquanto que os indivíduos da população de casos de teste aumentam o seu nível de dificuldade. Isto significa que os casos de teste se tornam cada vez mais complexos à medida que as soluções se tornam mais eficazes. Deste modo, o *fitness* dos indivíduos da população de soluções é diretamente proporcional ao número de casos de teste resolvidos pela solução e o *fitness* dos indivíduos da população de casos de teste é inversamente proporcional ao número de soluções que o resolvem.

As abordagens de co-evolução apresentam dois conceitos o de amostragem e o de *fitness* relativo. Discutiremos estes dois conceitos nas próximas seções.

1.2.1 Mecanismos de Amostragem

Para reduzir o custo computacional do CCE é necessário que para cálculo do *fitness* relativo seja selecionada uma amostra da população concorrente. Quanto mais diversificada for a amostragem retirada da população concorrente melhor será o processo co-evolucionário e mais preciso será o cálculo da aptidão relativa. Existem diferentes estratégias de seleção para o CCE:

- **Amostragem Todos contra Todos:** Cada indivíduo é testado com todos os indivíduos da outra população;
- **Amostragem Aleatória:** Cada indivíduo é testado com uma seleção aleatória de indivíduos da outra população;
- **Amostragem Torneio:** Cada indivíduo é comparado com uma seleção dos indivíduos com melhores *fitness* relativos da outra população;
- **Amostragem Todos contra os melhores:** Cada indivíduo é comparado com a seleção dos indivíduos com os melhores *fitness* (não é o relativo);
- **Amostragem Compartilhada:** Cada indivíduo é comparado com uma seleção dos indivíduos com melhores *fitness* compartilhados. Essa abordagem visa produzir diversidade na amostragem retirada da população concorrente.

Assim como qualquer processo de amostragem, a seleção utilizada deve ser cuidadosamente criada para que ela possa de fato representar os indivíduos de uma população. O processo de amostragem é a etapa mais importante em qualquer estratégia co-evolucionária.

1.2.2 Fitness Co-evolucionário Competitivo

Nas abordagens de algoritmos evolucionários tradicionais, uma função de fitness absoluta é utilizada para quantificar a qualidade de uma solução. Esta função é um mapeamento direto do problema de otimização utilizado. Além disso, o fitness dos indivíduos é avaliado independentemente do fitness dos indivíduos de outra população. Em CCE, os indivíduos são avaliados por meio de um fitness relativo. Este fitness representa o desempenho de um indivíduo em comparação com o fitness de indivíduos de outra população. Este fitness é um indicativo de quantos oponentes da outra população são vencidos por um determinado indivíduo.

Para calcular o *fitness* relativo dois aspectos devem ser levados em conta: (i) quais indivíduos da outra população serão usados na competição e (ii) como estes indivíduos serão usados para calcular o fitness relativo.

As abordagens mais populares para o cálculo do *fitness* relativo são:

- **Fitness Simples:** representa um somatório simples da quantidade de indivíduos na amostra da população concorrente que são superados pelo indivíduo avaliado;
- **Fitness Compartilhado:** Leva em consideração similaridades entre indivíduo com fitness parecidos dentro da amostra para comparação. Quanto menos comum é um indivíduo mais peso ele possui para o cálculo do *fitness* relativo;
- **Fitness por Torneio:** É elaborada uma árvore binária em que os indivíduos da população concorrente são colocados em cada folha e é realizado um torneio nos pares do mesmo nível. Os indivíduos resultantes são usados para cálculo do fitness simples.

Para evitar elitismo o CCE possui um mecanismo chamado de *Hall* da fama em que os melhores indivíduo de uma população são armazenados em uma região limitada. Esses indivíduos, por representarem uma solução boa para o problema tratado, é conservado nessa região, evitando assim que esse por algum motivo ele seja substituído por algum outra solução pior. Se o *Hall* estiver completamente preenchido e for necessário colocar mais um indivíduo a solução de pior, dentro do *hall*, é removida para dar lugar a esse novo indivíduo. O CCE consiste em basicamente a combinação de um mecanismo de seleção e um tipo de avaliação do fitness relativo aplicado a uma técnica de computação natural que faz uso de populações. O pseudo-código do CCE com duas populações é mostrado no Algoritmo 1.1:

Note que no fim de cada iteração um algoritmo evolucionário qualquer (Algoritmo genético, Programação genética, estratégia de evolução, PSO) é utilizado nas populações em separado. No laço de cada população todos os seus indivíduos são avaliados em relação a uma amostra na população concorrente.

Algoritmo 1.1: Algoritmo Co-evolução Competitiva

```

Inicializa as duas populações  $C_1$  e  $C_2$ ;
repita
  para cada indivíduo da população  $C_1$  faça
    Selecione uma amostra da população  $C_2$ ;
    Calcule o Fitness Relativo do indivíduo em relação a amostra;
  fim
  para cada indivíduo da população  $C_2$  faça
    Selecione uma amostra da população  $C_1$ ;
    Calcule o Fitness Relativo do indivíduo em relação a amostra;
  fim
  Evolui a população de  $C_1$ ;
  Evolui a população de  $C_2$ ;
até Até alcançar critério de parada ;
Seleciona o melhor indivíduo da população de solução,  $S_1$ 

```

1.3 Co-Evolução por Cooperação

Diferentemente da co-evolução por competição no modelo cooperativo todo o benefício obtido é dividido por todo o sistema (todas as populações). Esse mecanismo é menos frequentemente aplicado do que o por competição. Nesse trabalho iremos comentar sobre o mutualismo, sendo este o mecanismo cooperativo mais usados nas aplicações encontradas.

O algoritmo co-evolucionário por cooperação consiste na separação dos componentes (dimensões) que formam uma solução. A avaliação de um indivíduo de uma população é dada em relação a uma amostra na outra população. O indivíduo é combinado com os elementos da amostra e o *fitness* é calculado. Apenas os indivíduos que formaram o conjunto de melhores fitness com a amostra selecionada é que são preservados para as novas iterações.

A avaliação de um indivíduo em um algoritmo co-evolucionário por cooperação é relacionada com a sua capacidade de contribuir para para todo o sistema. Esse tipo de abordagem é bastante custosa computacionalmente e o seu uso está fortemente atrelado ao problema tratado. Um pseudo-código para o algoritmo cooperativo é mostrado no Algoritmo 1.2.

Notem a semelhança entre os algoritmos 1.1 e 1.2 a única diferença está no cálculo do *fitness* relativo e a seleção da solução ao termino do algoritmo.

1.4 Aplicações

Os algoritmos co-evolucionários vem sendo aplicados amplamente para construção da I.A. em jogos [X]referencias[X]. Mais teoricamente, ele vem sendo combinado com técnicas de inteligencia por enxames para solução de problemas de otimização numérica [X]referencias[X].

Algoritmo 1.2: Algoritmo Co-evolução Cooperativo

Inicializa as duas populações C_1 e C_2 ;

repita

para cada indivíduo da população C_1 **faça**

 Selecione uma amostra da população C_2 ;

 Calcule o *Fitness* Relativo do indivíduo em relação a amostra;

fim

para cada indivíduo da população C_2 **faça**

 Selecione uma amostra da população C_1 ;

 Calcule o *Fitness* Relativo do indivíduo em relação a amostra;

fim

 Evolui a população de C_1 ;

 Evolui a população de C_2 ;

até *Até alcançar critério de parada* ;

 Seleciona a melhor combinação entre as duas populações e retorna essa solução;

1.5 Conclusões

Preencher