

Coevolução

Frederico Gadelha Guimarães
frederico.g.guimaraes@gmail.com



Coevolução

- ▶ O que é coevolução?
- ▶ “An evolutionary change in a trait of individuals of one population in response to a trait of individuals of a second population, followed by an evolutionary response of the second population to a change in the first.” – H. E. Evans, 1984
- ▶ “A coevolução ocorre quando duas ou mais espécies influenciam as evoluções umas das outras.” – M. Ridley, 2004

Coevolução

- ▶ “Deus criou as mais belas flores para agradar aos nossos olhos...”



Fig 1: Coevolution in *Heliconius* and Passion Flower

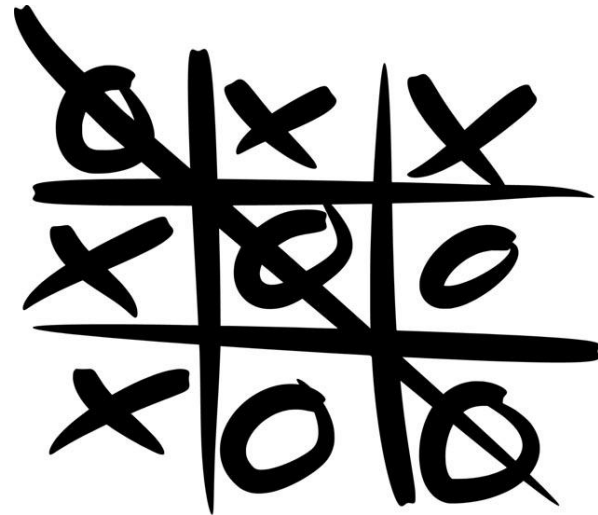
Coevolução

- ▶ Nos algoritmos evolutivos vistos até então, a população evolui em um ambiente físico fixo – evolução natural ocorre em um ambiente dinâmico, que inclui outras espécies;
- ▶ Num algoritmo coevolucionário, a aptidão de indivíduos em uma população é afetada pela presença de outros indivíduos na população (ou em outras populações);



Coevolução

- ▶ Suponha uma população de jogadores artificiais de jogo da velha (tic tac toe);
- ▶ Indivíduo A em geral ganha mais do que B, e portanto tem aptidão maior;
- ▶ Suponha um indivíduo C, para o qual A perde, e B vence;
- ▶ Se indivíduo C está na população, a aptidão de A pode ser inferior a de B;
- ▶ **Aptidão sensível ao contexto!**



Coevolução

- ▶ **Formas de coevolução na natureza:**
- ▶ **Coevolução competitiva:**
 - Competição: ambas as espécies são inibidas, interação negativa – predador-presa;
 - Amensalismo: uma espécie é inibida e a outra não é afetada;
- ▶ **Coevolução cooperativa:**
 - Mutualismo: ambas as espécies se beneficiam, interação positiva;
 - Comensalismo: uma espécie é favorecida, e a outra não é afetada;
- ▶ **Parasitismo: uma espécie é favorecida e a outra é prejudicada;**

Coevolução

- ▶ **No computador:**
- ▶ **Coevolução competitiva com 1 população:** indivíduos em uma população competem uns com os outros para determinar uma aptidão relativa – usado para evoluir estratégias competitivas;
- ▶ **Coevolução competitiva com 2 populações (ou demes):** A aptidão de um indivíduo na população 1 é calculado com base em quantos indivíduos da população 2 ele é capaz de derrotar (e vice-versa). População 1 contém soluções candidatas, e a população 2 contém casos de teste, forçando a população 1 a evoluir para soluções robustas, isto é, boas não importa o que a população 2 apresente;

Coevolução

- ▶ **No computador:**
- ▶ **Coevolução cooperativa com N populações:** o problema é dividido em N subproblemas menores. Cada subpopulação evolui para resolver um subproblema e cooperam para resolver o problema completo. Útil para decompor problemas ou para distribuir soluções;



Coevolução

- ▶ **Absolute fitness vs relative fitness: What does fitness mean now?**
- ▶ A aptidão de cada indivíduo não é mais um valor absoluto dado por uma função de avaliação, mas sim um valor relativo baseado em seu desempenho no **contexto dos demais indivíduos** no mesmo processo de otimização;
- ▶ Um indivíduo pode ser bom numa dada geração, e péssimo em outra, porque o contexto em que ele está inserido também evolui;
- ▶ Aptidão sensível ao contexto;



Coevolução competitiva

- ▶ Coevolução competitiva busca produzir soluções ótimas por meio de competição entre indivíduos de uma ou mais populações;
- ▶ População de soluções candidatas: evolui para resolver o maior número possível de casos – aptidão dada pelo número de casos resolvidos;
- ▶ População de casos de teste: evolui para apresentar nível de dificuldade crescente para as soluções – aptidão dada pelo número de soluções que não conseguem resolver o caso;
- ▶ A aptidão da população 1 é baseada em quão bem seus indivíduos desempenham em relação à população 2 e vice-versa;



Coevolução competitiva

- ▶ Coevolução competitiva com duas populações é visto como um modelo abstrato da corrida armamentista na coevolução natural;



Coevolução competitiva

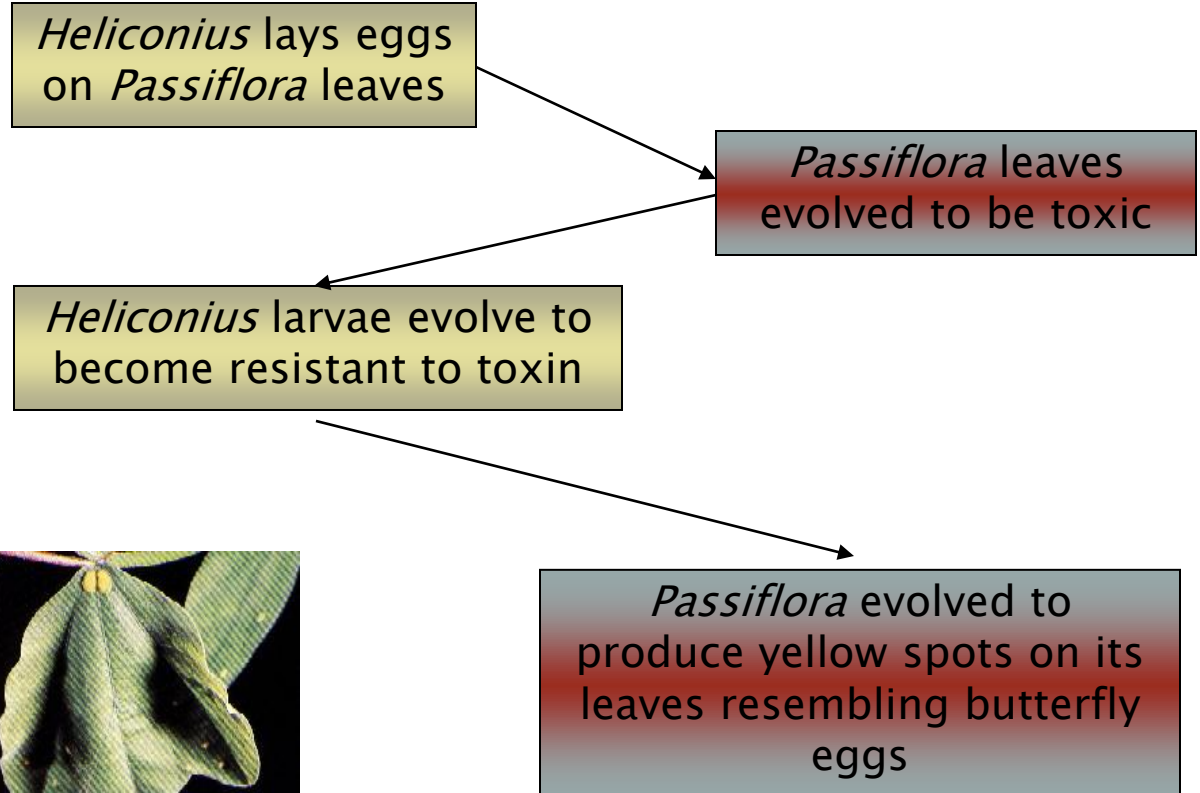


Fig 2:
Heliconius eggs
on vine



Fig 3: Fake eggs
produced by the
plant, on vine



Fig 4: Coevolutionary
mechanism

Coevolução competitiva

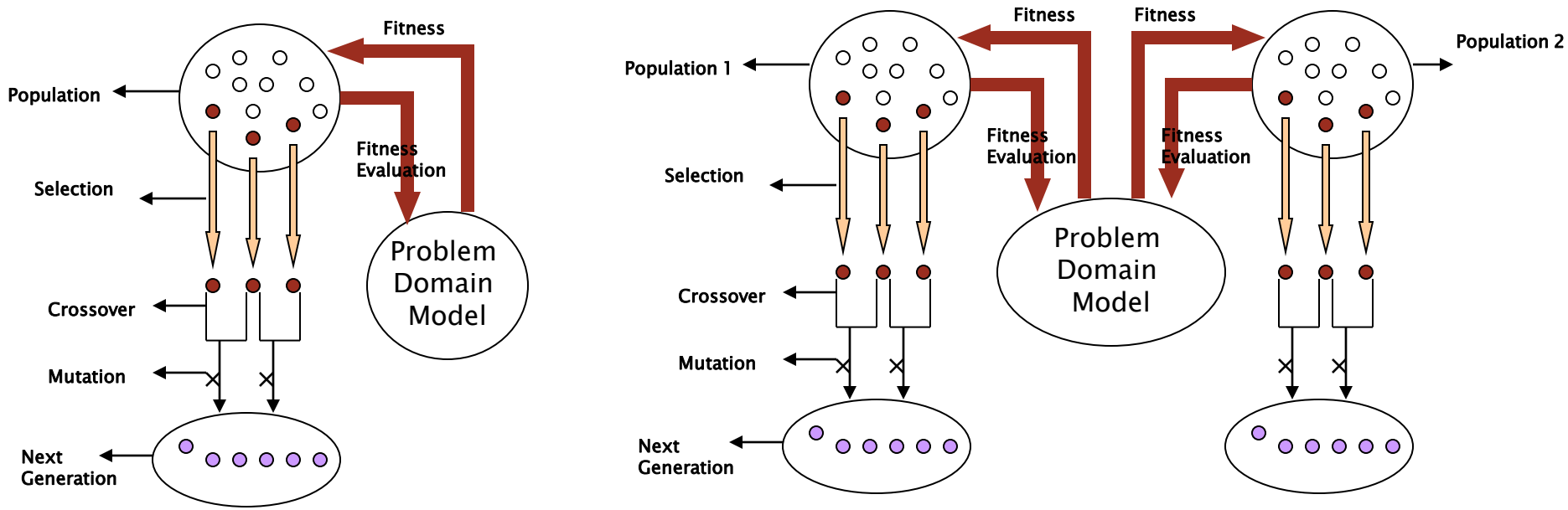


Fig 6: Evolution and Coevolution

Coevolução competitiva

- ▶ Como avaliar aptidão? Amostragem da população competidora:
- ▶ **Todos contra todos**: forma ideal de avaliação, porém, mais custosa;
- ▶ **Aleatória**: a aptidão de cada indivíduo é testada contra um grupo aleatório da outra população;
- ▶ **Torneio**: avaliação relativa usando torneios estocásticos;
- ▶ **Todos contra melhor**: todos os indivíduos da população A são testados contra o melhor indivíduo da população B;



Coevolução competitiva

▶ Algoritmo coevolucionário com duas populações

```
Criar população inicial  $X1[t]$  e  $X2[t]$ ;
```

```
Enquanto critério de parada não satisfeito faça:
```

```
  para  $i=1, \dots, \mu_1$  faça
```

```
    Selecione amostra de oponentes de  $X2[t]$ ;
```

```
    Avalie aptidão relativa de  $X1[t, i]$ ;
```

```
  fimpara
```

```
  para  $i=1, \dots, \mu_2$  faça
```

```
    Selecione amostra de oponentes de  $X1[t]$ ;
```

```
    Avalie aptidão relativa de  $X2[t, i]$ ;
```

```
  fimpara
```

```
 $X1[t+1] \leftarrow$  Evolua população  $X1[t]$ ;
```

```
 $X2[t+1] \leftarrow$  Evolua população  $X2[t]$ ;
```

```
 $t \leftarrow t+1$ ;
```

```
Fimenquanto
```

Coevolução competitiva

- ▶ Algoritmo coevolucionário com uma população

```
Criar população inicial X[t];
```

```
Enquanto critério de parada não satisfeito faça:
```

```
    para  $i=1, \dots, \mu$  faça
```

```
        Selecione amostra de oponentes de X[t];
```

```
        Avalie aptidão relativa de X[t,i];
```

```
    fimpara
```

```
    X[t+1] ← Evolua população X[t];
```

```
    t ← t+1;
```

```
Fimenquanto
```


Coevolução competitiva

- ▶ Algoritmo coevolucionário com uma população
- ▶ Porque não usar um jogador especialista para avaliar a aptidão dos indivíduos e evoluir uma população para derrotar esse especialista?
- ▶ Coevolução e aptidão relativa permitem uma suavização da curva de aprendizado!



Coevolução competitiva

- ▶ **Problemas:**
- ▶ “Perda de gradiente”;
- ▶ Red queen effect;



Coevolução competitiva

- ▶ **Perda de gradiente:**
- ▶ Uma população evolui mais rápido do que a outra, de forma que todos os indivíduos de uma derrotam os indivíduos da outra;
- ▶ Ocorre perda de pressão seletiva, pois os valores de aptidão ficam muito próximos, todos ruins numa população e todos muito bons na outra;
- ▶ Solução: paralisar a evolução da população vencedora;



Coevolução competitiva

- ▶ **The red queen effect**
- ▶ Alusão à fala da rainha vermelha em “Alice através do espelho”, de Lewis Carroll: “aqui, veja você, é preciso correr tanto quanto se consegue para ficar no mesmo lugar”;
- ▶ Duas espécies competidoras evoluem continuamente atingindo um equilíbrio dinâmico;
- ▶ O ambiente de uma espécie deteriora continuamente à medida que seus competidores desenvolvem novas adaptações. Se uma espécie não consegue adquirir uma melhora adaptativa para contrapor a espécie antagonista, esta será extinta;

Coevolução competitiva

- ▶ **The red queen effect**
- ▶ Se as duas populações evoluem continuamente, seus valores de aptidão relativos tendem a estabilizar num mesmo patamar;
- ▶ Como acompanhar a evolução do algoritmo?
- ▶ No algoritmo evolutivo tradicional, os valores de aptidão da população tendem a aumentar ao longo da otimização, porém no algoritmo coevolucionário os valores tendem a estagnar, pois são valores relativos;
- ▶ **Solução** -> aptidão interna (relativa, usada na seleção) e aptidão externa (absoluta, usada para monitoramento);

Coevolução competitiva

- ▶ **Vantagens:**
- ▶ Promove adaptação por meio de corrida armamentista;
- ▶ Soluções mais complexas podem emergir dessa competição;
- ▶ Menos chance de ficar preso em ótimos locais como a evolução;
- ▶ Soluções não estagnam facilmente, pois o ambiente está constantemente evoluindo;
- ▶ Tende a encontrar soluções robustas, que apresentam bom desempenho em diversas situações;



Coevolução competitiva

- ▶ **Aplicações:**
- ▶ Game learning;
- ▶ Planejamento tático militar;
- ▶ Controladores de robôs;
- ▶ Evolução de estratégias de marketing;
- ▶ Otimização restrita;
- ▶ Veículos autônomos;
- ▶ Mineração de dados e classificação;
- ▶ ...



Coevolução competitiva

- ▶ **Exemplo:**
- ▶ (Hillis, 1990) mostrou que um algoritmo coevolutivo foi capaz de criar programas de ordenação mais eficientes que um algoritmo evolutivo normal;
- ▶ População de casos de teste: vetores a serem ordenados;
- ▶ População de soluções: algoritmos de ordenação representados em árvore;



Coevolução cooperativa

- ▶ Na Coevolução cooperativa, indivíduos de diferentes espécies (ou subpopulações da mesma espécie) cooperam de alguma forma para resolver uma tarefa global mais complexa;
- ▶ A aptidão dos indivíduos depende da capacidade do indivíduo em contribuir para a solução global;
- ▶ Cada subpopulação está buscando uma subssolução ótima;
- ▶ **Problema de atribuição de crédito:** como a aptidão alcançada pelo esforço coletivo de todas as espécies pode ser dividido de forma justa entre os indivíduos participantes?



Coevolução cooperativa

- ▶ **Divide and conquer:**
- ▶ Dividir um problema complexo em subcomponentes, cada subcomponente é evoluído por uma subpopulação no esquema tradicional de um algoritmo evolutivo;
- ▶ Representações de cada subcomponente são combinadas para formar uma solução completa, que é então avaliada para fornecer um valor de aptidão;
- ▶ Baseado na avaliação da solução completa, deve-se então acionar a política de atribuição de crédito;



Coevolução cooperativa

- ▶ Exemplo (Potter and De Jong, 1994):
- ▶ Seja uma função de n variáveis a ser minimizada. São criadas n subpopulações, cada uma evoluindo apenas uma variável;
- ▶ Na avaliação de um indivíduo da população $X_k[t]$, utilizam-se os melhores valores das outras subpopulações para completar a solução para a avaliação de aptidão;
- ▶ Atribuição de crédito: a aptidão da solução completa é a aptidão da solução parcial na subpopulação $X_k[t]$;



Coevolução cooperativa

- ▶ Exemplo – evoluindo estratégias em jogos de equipe:



Coevolução cooperativa

- ▶ A evolução de uma estratégia para a equipe pode ser um problema muito complexo – suponha que cada jogador tem um espaço de busca de 1000 estratégias, o espaço de busca para uma equipe de futebol seria 1000^{11} !
- ▶ Outra alternativa seria evoluir a estratégia de cada jogador separadamente – resolver 11 problemas de otimização – porém não há garantia de que os jogadores assim obtidos vão jogar bem em conjunto (cooperação improvável);
- ▶ Coevolução cooperativa com 11 subpopulações!



Coevolução cooperativa

- ▶ O problema de evoluir uma estratégia de jogo para N jogadores pode ser dividido em N subproblemas de evoluir estratégias de jogo para cada jogador;
- ▶ N subpopulações são criadas, cada uma evoluindo a estratégia de um jogador;
- ▶ A aptidão de um indivíduo é calculada selecionando indivíduos das outras populações e agrupando-os em uma equipe completa;
- ▶ Atribuição de crédito: a aptidão do indivíduo pode ser dada pela aptidão da equipe (vitórias contra outros jogadores) ou pode ser proporcional ao desempenho do jogador na partida;



Coevolução cooperativa

- ▶ Coevolução cooperativa é ideal para paralelização e também para computação distribuída, em que se possui conhecimento apenas parcial sobre o problema;

