

Evolution of Robustness in an Electronic Design

MAC0461 - Introdução ao Escalonamento e Aplicações

Caio Cestari Silva, Paulo Henrique Floriano

Professor: Alfredo Goldman vel Lejbman
Instituto de Matemática e Estatística
Universidade de São Paulo

2 de dezembro de 2009

Agenda

- 1 Algoritmos Genéticos
 - Definição
 - Exemplo
- 2 O Experimento
 - Objetivo
 - Detalhes
 - O Processo Evolutivo
- 3 Resultados
 - Resultados Misteriosos
 - Conclusões
- 4 Referências

Algoritmos Genéticos

Baseados na **Teoria Biológica da Evolução**:

- Indivíduos **mais bem adaptados** tem mais chance de sobreviver
- Indivíduos **sofrem mutações**
- Indivíduos **se cruzam**

Modelando a Evolução

Para modelar um problema para ser resolvido com um algoritmo genético, é necessário:

- Uma **função de avaliação** da adaptação dos indivíduos (**fitness**)
- Um **operador** que gera, a partir de uma população, uma nova geração, utilizando seleção dos mais adaptados, mutação e/ou combinação.

Exemplo

População Inicial

Geração Atual



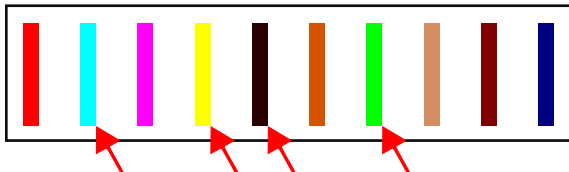
Nova Geração



Exemplo

Seleção

Geração Atual



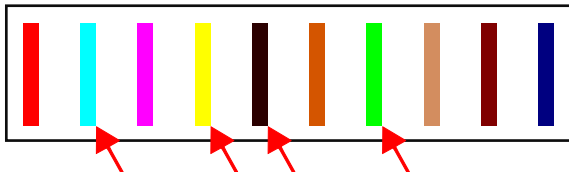
Nova Geração



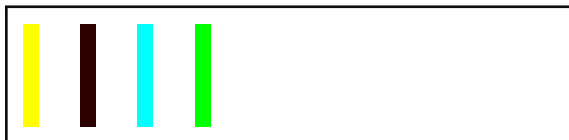
Exemplo

Seleção

Geração Atual



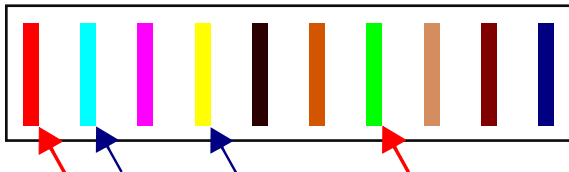
Nova Geração



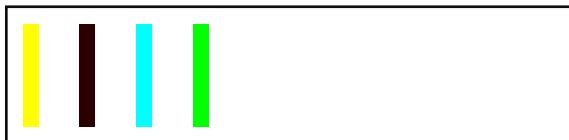
Exemplo

Combinação

Geração Atual



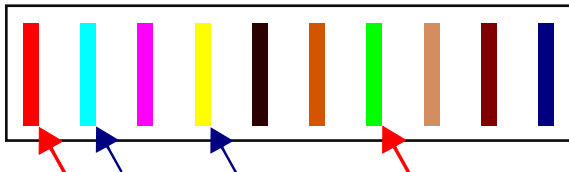
Nova Geração



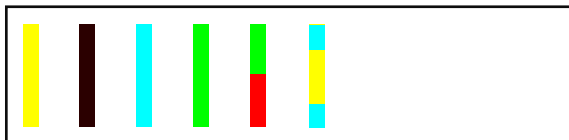
Exemplo

Combinação

Geração Atual



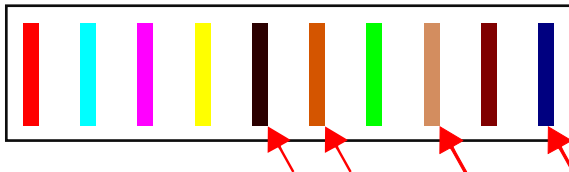
Nova Geração



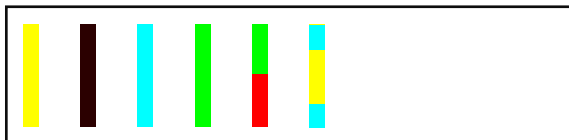
Exemplo

Mutação

Geração Atual



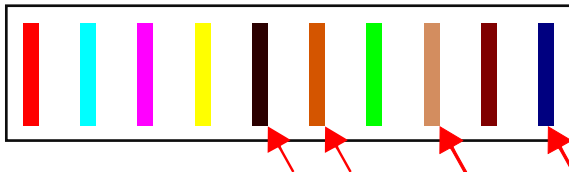
Nova Geração



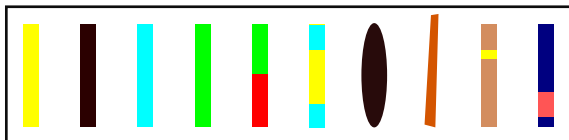
Exemplo

Mutação

Geração Atual



Nova Geração



Objetivo

Evolução Aplicada a Circuitos

O experimento realizado por Adrian Thompson e Paul Layzell tinha como pontos principais:

Objetivo

Evolução Aplicada a Circuitos

O experimento realizado por Adrian Thompson e Paul Layzell tinha como pontos principais:

- Obter um circuito que conseguisse distinguir sinais de 1kHz de sinais de 10kHz

Evolução Aplicada a Circuitos

O experimento realizado por Adrian Thompson e Paul Layzell tinha como pontos principais:

- Obter um circuito que conseguisse distinguir sinais de 1kHz de sinais de 10kHz
- O circuito devia ser **robusto**

Evolução Aplicada a Circuitos

O experimento realizado por Adrian Thompson e Paul Layzell tinha como pontos principais:

- Obter um circuito que conseguisse distinguir sinais de 1kHz de sinais de 10kHz
- O circuito devia ser **robusto**
- Utilizar um algoritmo genético para procurar uma solução boa

Modelo de FPGA

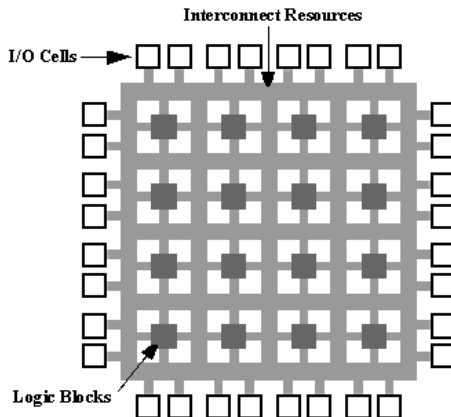
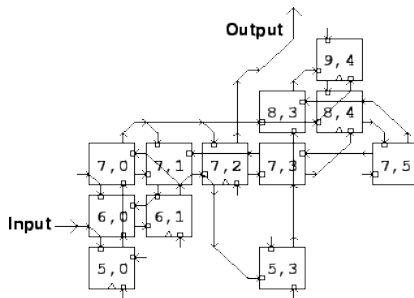


Imagem retirada de home.mit.bme.hu/~szedo/FPGA/fpgahw.htm

Detalhes do Experimento

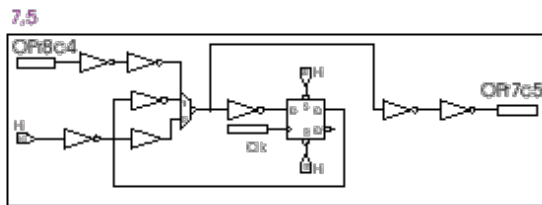
- A FPGA tem 64x64 células, mas apenas 10x10 foram sujeitas à evolução
- Conexões apenas entre células vizinhas
- 10 multiplexadores podem ser modificados em cada célula
- Avaliação das gerações em 4 FPGAs diferentes simultaneamente

Detalhes do Experimento



Parte funcional da configuração - representando entradas (nos quadrados), saídas, utilização de flip-flops síncronos (triângulos), e posição das células na grade de 10x10 células

Detalhes do Experimento



Uma das células da FPGA e seu circuito lógico

Relaxando

- As células funcionais da FPGA podem ou não ser sincronizadas com o clock
- Circuitos assíncronos são difíceis de modelar e, portanto, evitados
- Apesar disso, deixa-se que a evolução varie a sincronia de cada célula

Obtendo uma Nova Geração

Apenas através de **Mutação...**

Obtendo uma Nova Geração

Apenas através de **Mutação...**
... mas **que tipo** de Mutação?

Mutação dos Circuitos Eletrônicos

Processo de Mutação

- Escolhe-se uma célula aleatoriamente e modifica a saída de um de seus multiplexadores

Mutação dos Circuitos Eletrônicos

Processo de Mutação

- Escolhe-se uma célula aleatoriamente e modifica a saída de um de seus multiplexadores
- Repete-se este processo 3 vezes

Mutação dos Circuitos Eletrônicos

Processo de Mutação

- Escolhe-se uma célula aleatoriamente e modifica a saída de um de seus multiplexadores
- Repete-se este processo 3 vezes
- Um observador externo decide quando parar

Função de Adaptação

- É calculada testando o circuito para uma sequência aleatória de sinais
- Basicamente subtrai os sinais baixos dos sinais altos
- Penaliza soluções que tenham muitas oscilações de sinal para uma entrada constante

Medo

$$E^C = \frac{1}{2T} \left| \sum_{t \in S_1} i_t^C - \sum_{t \in S_{10}} i_t^C \right| - P^C$$

$$P^C = w_x \frac{1}{2T} \sum_{t=1}^T \text{MAX}(R^C(t) - 1, 0)$$

$$F = \min_{c=1}^4 (E^C)$$

O Processo

- Todas as gerações têm apenas um indivíduo
- A cada passo, gera um novo indivíduo através da mutação e testa-se sua adaptação
- Se a nova geração for pior que a antiga, reprograma a FPGA para retirar as mutações
- Se for melhor, mantém-se a anterior

Eis que...

- ... o circuito gerado funciona quase perfeitamente, resistindo até a variações de temperatura, e...
- ... **ninguém sabe explicar exatamente porque ele funciona! :-)**

Conclusão

- Algoritmos genéticos podem gerar circuitos que não podem ser criados de outra forma
- Se removermos as restrições do design tradicional, um algoritmo genético pode encontrar soluções ainda melhores
- O funcionamento destes circuitos não pode ser facilmente modelado - eles simplesmente funcionam



I. Harvey and A. Thompson.

Through the labyrinth evolution finds a way: A silicon ridge.

Lecture Notes in Computer Science, 1259:406–422, 1997.



J.R. Koza, F.H. Bennett III, M.A. Keane, J. Yu, W. Mydlowec, and O. Stiffelman.

Searching for the impossible using genetic programming.

In *Proc. Genetic and Evolutionary Computation conference (GECCO-99)*, pages 1083–1091.



A. Thompson and P. Layzell.

Evolution of robustness in an electronics design.

In *Evolvable systems: from biology to hardware: third international conference, ICES 2000, Edinburgh, Scotland, April 17-19, 2000, proceedings*, page 218. Springer Verlag, 2000.