

Diferenças aparecem entre diferentes tipos de algoritmos evolutivos mas também entre mesmos tipos: ex, algoritmos genéticos que promovem a endogamia (nascimento de pais próximos por muitas gerações) e outros que a previnem obtém bons resultados.

A questão está em como eles balanceam os processos de exploração e intensificação

[pg3-4] - Outro exemplo pode ser visto na recombinação de pais similares ou diferentes: a combinação de pais muito diferentes mas bons pode gerar bons resultados, mas pais similares também podem gerar uma diversidade adequada sem degradar a convergência. É uma surpresa que os processos de exploração e intensificação foram usados até o momento de forma implícita.

Exploration e exploitation se referem a estratégias de curto espaço de tempo amarradas à aleatoriedade

Diversification and intensification se referem a estratégias de médio a longo prazo, baseadas no uso de memória

## Section 2.

Pesquisas mais intensas são necessárias para um entendimento mais profundo dos fundamentos dos processos de busca evolutivos.

Em seu artigo, Wong et al. (2003) diz que o crossover seria responsável pela intensificação (melhora local)

e a mutação seria responsável pela exploração do espaço de solução.

O autor diz que esta análise é muito simplificada.

Seleção -> guia na direção do melhor indivíduo (exploitation?) => depende da pressão da seleção

(maior pressão->exploitation / menor pressão->exploration)

Mutação -> pode aumentar a diversidade da população com uma certa probabilidade (exploration?) =>

depende do ponto de vista e intensidade / (a) altera os indivíduos gerando diversidade -> explorar

novas regiões; (b) altera pouco cada indivíduo (a maior parte dos genes/características é mantida)

favorecendo uma busca local (exploitation).

Em Estratégias Evolucionárias está mais para um operador de exploração

Em Algoritmos Genéticos a mutação está mais para um operador de exploitation.

Crossover -> ao combinar pais bons os filhos tendem a ser ainda melhores (exploitation?) => depende do ponto de vista e do número de pais / (a) com a ideia apresentada exploitation ocorre;

(b) um crossover pode gerar também proles que estão dentro de uma zona de exploração (exploratory power = número potencial de formas que novas proles podem ser geradas) [De Jong e Spears, 1992]

Autor enfatiza que nunca poderemos afirmar que crossover ou mutação são operadores de apenas exploração

ou exploitation. Podemos apenas esperar/torcer pelo comportamento desejado.

[pg5-6] - Outros fatores que podem favorecer exploração ou exploitation:

+ Tamanho da população:

população maior permite uma exploração mais ampla inicial (mas requer gerenciamento

pois também  
podem convergir rapidamente).  
É possível realizar redimensionamento da população

#### + Representação dos indivíduos:

A forma como os indivíduos são representados impacta diretamente nos operadores de mutação e crossover.  
A relação entre representação e balanço entre exploração e exploitation ainda não é bem entendida

\*\* É muito complicado, senão quase impossível, estudar apenas uma característica isolada

Os Algoritmos Evolutivos tem conseguido usar o processo de seleção e os operadores de variação (de alguma forma) estabelecer um bom balanceamento entre exploração e exploitation, principalmente pelo devido controle de parâmetros.

#### + taxas de variação:

# Se as taxas de variação são muito altas => mais pedaços do espaço de busca são explorados mas  
pode-se perder boas soluções ao não intensificar ==> busca aleatória  
# Se as taxas de variação são muito baixas => o espaço de busca é subexplorado e existe tendência  
de ficar preso em ótimos locais ==> hill climbing

#### + ajuste de parâmetro

# é um aspecto dependente de problema => níveis de exploração e exploitation devem ser diferentes entre  
problemas distintos (ex: otimização de funções unimodais provavelmente requer menos exploração do  
que funções multimodais)  
# diferentes graus de exploração/exploitation são necessários durante o processo de evolução  
(no início mais exploração é interessante com maior população disponível)  
# formas de ajuste - tuning de parâmetros vs. controle de parâmetro  
[\*] offline - ajuste antes da execução e não mudam durante a evolução  
(1) Tentativa e erro: tedioso e consome muito tempo  
(2) Seguir guidelines genéricas: as vezes não são aplicáveis, ou não conduzem a bons resultados para  
determinados casos  
(3) Usar Algoritmos Evolutivos sem parâmetros: robusto mas geralmente menos efetivo  
(4) Usar experiências em aplicações similares: nem sempre existem  
(5) Identificar características da superfície de fitness  
(6) Uso de análise estatística para analisar a interação entre o controle de parâmetros e o seu efeito  
(7) Uso de modelos matemáticos: geralmente muito simples para uso real ou muito complicados para se entender  
(8) Tuning de parâmetros controlado por algoritmos: o tuning pode ser encarado como uma tarefa de otimização - algoritmos meta-evolutivos, algoritmo de corrida, hyper heurísticas, otimização multiobjetivo, entre outros  
[\*] online - ajustes durante a execução

#### # classificação dos métodos

(1) determinísticos - seguem regras determinísticas  
(2) adaptativos - usam o feedback de um processo de evolução para controlar os parâmetros  
(3) auto-adaptativos - codificam os parâmetros nos próprios indivíduos e os parâmetros sofrem ajustes  
nas operações de variação (evolução da evolução)

[pg7-8-9]

Começar com mais exploração e posteriormente usar mais exploitation é uma crença comum que geralmente está correta. Para certos problemas entretanto (funções multimodais ou ambientes dinâmicos) o balanceamento necessário pode ser diferente.

# Balanceamento auto-adaptativo é feito com o uso de informações disponíveis: (uso de informação do valor de fitness, número de gerações sem melhora, diversidade, entropia) e/ou por técnicas mais avançadas como operadores genéticos e de seleção adaptativos, função fitness adaptativa, entre outras.

# Como conseguir um bom balanceamento entre exploração e exploitation [Liu et al., 2007]

(1) Abordagem dirigida a processo único: o balanço entre exploração e exploitation é adquirido

separadamente por um processo (seleção ou variação). Cada processo é independentemente responsável pelo balanço (crossover por si só já é um exemplo - no início a população é mais diferente e ocorre diversificação enquanto que nas fases mais tardias a população tende a ser mais parecida e isso leva a uma intensificação). O desafio está em conseguir sinergia entre o balanceamento obtido pelos processos.

(2) Abordagem dirigida a múltiplos processo: o balanço entre exploração e exploitation é feito de

forma coordenada entre os processos (ex: uma alta pressão de seleção/exploitation é compensada por um alto índice de variação pela mutação e crossover/exploração)

#### CONTROLANDO EXPLORAÇÃO E EXPLOITATION

- Quando? [easy]

+ De preferência o controle deve ser online - durante a execução  
\* ajustar o balanço quando: k gerações se passaram, não houve melhora depois de k gerações, ...

- Como? [hard]

+ antes de controlar é preciso saber como medir (o que é uma questão em aberto)  
\* Diversidade: uma medida específica de problema / é pré-requisito para exploração -> evita convergência prematura  
mas deve ser reduzida em determinadas etapas, quando grande intensificação é necessária.

Medida em:

# nível genótipo: diferença entre genômas da população  
# nível fenótipo: diferença entre os valores de fitness da população  
# medida complexa ou composta: uma combinação de genótipo e fenótipo

Medições no nível fenótipo (vs. genótipo) usualmente levam a melhores resultados e são independentes do esquema de representação

"Localidade": nível de correspondência entre vizinhança genotípica e fenotípica.

Uma busca em um espaço de baixa localidade pode ser enganosa => representações que geram alta localidade permitem buscas mais eficientes

[pg10-11-12] -

((É possível juntar os dois em um só já que os termos são praticamente idênticos))

\* Medições genotípicas:

- # baseada em diferença - contagem de genótipos diferentes, contagem de alelos (símbolos diferentes de gene numa mesma posição)
- # baseada em distância - (mais usado) usa funções de distância
- # baseada em entropia - representa o montante de desordem populacional, onde aumento de entropia => aumento de diversidade
- # baseada em probabilidade - ex: Índice de diversidade de Simpson = quantifica a biodiversidade de um habitat, mensurando a probabilidade de dois indivíduos (aleatórios) serem da mesma espécie.
- # baseada em descendência - contabiliza a diferença entre a população atual em relação às populações de gerações passadas.

\* Medições fenotípicas:

- # baseada em diferença - contagem de fenótipos/classes/categorias diferentes
- # baseada em distância - uso de funções de distância para encontrar similaridade entre indivíduos de uma população
- # baseada em entropia - (aparentemente semelhante ao genotípico)
- # baseada em probabilidade - (idem simpson em genotipo)

\* Definição formal de exploração e exploitation:

Uso de uma função de similaridade ao vizinho mais próximo (SCN), referente aos pais, ao indivíduo mais similar (em toda a população ou dentro uma subpopulação),

ou a todos os indivíduos da história

# Exploração:  $SCN(ind\ \$sub\{new\}, P) > X$

# Exploitation:  $SCN(ind\ \$sub\{new\}, P) \leq X$

X é um limiar que define o limite entre vizinhança e é dependente de problema

[pg13-18] -

## CLASSIFICAÇÃO DAS ABORDAGENS ATUAIS PARA BALANCEAMENTO ENTRE EXPLORAÇÃO E EXPLOITATION

- Como? [hard] (cont.)

+ Aumento de diversidade => fase de exploração

+ Diminuição de diversidade => fase de exploitation

+ uso de fitness (mais simples): usado indiretamente para guiar o balanço

ex: uso de fitness para identificar se a taxa de mutação precisa ser alterada

+ manutenção da diversidade: assume-se que diversidade será mantida com o uso de determinadas técnicas (não requer medições)

\* non-niching

# baseada em população:

@ aumento do tamanho da população: abordagem simples, mas nem sempre conduz a um aumento de diversidade correspondente

@ eliminação de duplicatas: indivíduos que já existem na população são eliminados e outro indivíduo aleatório é gerado, ou o indivíduo é mutado até se tornar suficientemente diferente.

@ técnica de infusão: novos indivíduos são aleatoriamente inseridos depois de um número específico de gerações.

[Koza 1992] dizimação: percentagem substancial da população é eliminada e trocada por indivíduos aleatórios em intervalos regulares.

[Rahnamayan et al. 2008] oposição: inserção de indivíduos opostos

Esta técnica tem se mostrado efetiva para ambientes dinâmicos

(cuidado: se for uma resposta devido a falta de progresso ou mudança

no ambiente está relacionado ao +controle de diversidade )

- @ arquivos externos: manter registro de soluções não dominadas mantendo inerentemente uma população diversificada. Também usada para registrar soluções inferiores recém exploradas.
- @ migração entre subpopulações (ilhas): trocar indivíduos entre subpopulações (escolha: os menos adaptados, aleatórios, os mais similares)
  - subpopulações diferentes podem manter diferentes regiões promissoras e diversidade
  - [Ursem 2000] algoritmo genético multinacional (nações = subpopulações)
  - [Araujo e Merelo 2011] algoritmo MultiKulti - subpopulações são construídas como um anel topológico

# baseada em seleção:

- @ variação na pressão de seleção: técnicas que previnem apenas a seleção tendenciosa em relação aos indivíduos mais adaptados
  - seleção por ranking, por torneio correlativo, baseado em família,
  - seleção baseada em classes de fitness (população organizada em classes por fitness, k indivíduos são escolhidos de cada classe)
- @ restrições de substituição:
  - [De Jong 1975] crowding - cada novo indivíduo substitui o indivíduo mais similar a ele dentro uma subpopulação de tamanho CF (fator de aglomeração)
  - [Lozan et al 2008] híbrido - indivíduos de baixo fitness e pouca contribuição são substituídos (promove exploitation e exploração)

# baseada em crossover e mutação:

- @ restrições de acasalamento: crossover acontece apenas entre indivíduos que respeitam certas condições
  - Prevenção de incesto, acasalamento apenas entre indivíduos suficientemente diferentes, uso de um atributo gênero e função de sedução.
- @ operadores disruptivos (que interrompem o seguimento normal de um processo)
  - ex: operador de hyper-mutação. Pesquisas apontam que esses operadores não necessariamente implicam em uma exploração útil

# híbrido: abordagens específicas que não podem ser facilmente classificadas nas demais especificadas

- Usam conceitos não convencionais ou mistura de diferentes abordagens
  - (ex1: algoritmo genético com idade - usada na função de fitness e na função de acasalamento => indivíduos mais velhos são mais aptos para acasalamento; mantém mais diversidade na população e diminui a perda de diversidade genotípica)
  - (ex2: uso de diferentes estratégias para cada indivíduo em uma evolução diferencial)

[pg18-21] -

- \* niching - promovem a formação e manutenção de subpopulações estáveis dentro a vizinhança de soluções ótimas
  - capaz de localizar múltiplas soluções ótimas
- # baseada em fitness: compartilhamento de fitness, limpeza e agrupamento
- # baseada em reposição: aglomeração determinística, probabilística e seleção em torneio restrito
- # baseada em preservação: conservação de espécies
- # híbrido: baseados em população elitista adaptativa, mistura de abordagens

niching vs. non-niching: o primeiro é considerado mais forte para diversificação

+ controle da diversidade: realiza-se medições da diversidade da população, fitness individual e melhoria de fitness e os usa para conduzir o processo de evolução para exploração ou exploitation

# diversidade controlada e preservada por seleção: (vários) sobrevivência baseada na diversidade populacional (pode ser embutida na função fitness)

# diversidade controlada por crossover e mutação: (maioria)

aumentar/diminuir a probabilidade de crossover e/ou mutação baseado na diversidade populacional, fitness e/ou melhora de fitness.

# diversidade controlada por mudança populacional: (poucos) com a diversidade populacional mensurada, altera-se o tamanho da população e/ou a população em si.

+ aprendizagem: (raramente proposto) utiliza-se de um histórico a longo prazo (gerações passadas) e técnicas de aprendizagem de máquina para aprender áreas de busca já exploradas ou inexploradas.

\* Curran e O'Riordan (2006): aprendizagem cultural -> indivíduos podem passar seu conhecimento para gerações seguintes.

Aprendizagem populacional -> evolução da população pelas gerações

Aprendizagem de tempo de vida -> indivíduos adquirem conhecimento durante sua vida (em uma busca local, por exemplo)

aprendizagem cultural aumentou significativamente a diversidade genotípica e fenotípica

\* Amor e Rettinger (2005): uso de mapas auto-organizáveis -> leva em conta a diversidade populacional e de todo o processo evolutivo.

"Novidade" é incorporada na função fitness conduzindo à exploração de regiões inexploradas.

\* Yuen e Chow (2009): algoritmo genético não revisitável com mutação adaptativa sem parâmetros.

Uso de uma árvore binária de partição de espaço (nós contém a densidade das soluções avaliadas)

Caso uma região seja revisitada, o algoritmo encontrar regiões próximas não visitadas e aplica mutações aleatórias dentro deste espaço (relativas ao tamanho da região inexplorada)

[pg22-25] -

+ outras abordagens diretas: exploração e exploitation estão entrelaçadas (mesmo em uma fase de exploração, exploitation pode ocorrer também)

Três abordagens nesse sentido:

\* Diferentes subpopulações são usadas para uma fase em particular:

# Bi-population GA (Tsutsui et al. 1997) - uso de duas populações, uma para exploração e outra para exploitation. Entretanto não há uma garantia de que realmente uma subpopulação

de exploração, por exemplo, não possa realizar um pouco de exploitation ao acaso. Os autores utilizam mutações diferentes (mais amplas para exploradores e mais específica para intensificadores)

mas o operador de crossover é o mesmo. Também, a subpopulação de exploradores é maior.

# Forking GA (Tsutsui et al. 1997) - exploradores: pais / intensificadores: um ou vários filhos por pai

(aparentemente um indivíduo pode ser considerado filho e intensificador, mas também um pai explorador)

# Oppscher e Wineberg (1999) - Algoritmo genético com balanço alternante: uso de grupos de núcleo (exploit, maior população) e colônia (explore, menor população)

(difícil limitar exploração e intensificação na população de núcleo)

# Goh et al. (2003) - separação da população em sexos: femea (exploradores) e macho (intensificadores).

Inspiração da natureza: femeas "sempre" se acasalam, enquanto que apenas os machos mais atrativos acasalam

Não há controle explícito entre fases.

\* Mesma população mas gatilhos causam a troca entre fases:

# Exemplo principal - algoritmos evolutivos com busca local => a fase de intensificação é explicitamente ativada por um gatilho que inicia uma busca local.

Entretanto, as etapas de exploração e exploitation não são bem separadas, pois na suposta exploração pode ocorrer algum tipo de intensificação com o uso dos operadores.

Perguntas: com qual frequência a busca local deve ser realizada? Qual indivíduo deve ser exposto a busca local?)

# Ursem (2002) - Algoritmo evolutivo guiado por diversidade: diversidade = soma euclidiana de todos os indivíduos em relação ao ponto médio.

Essa medida é usada um limiar para a troca entre fase de exploração e intensificação.

fase de exploração -> apenas mutação é usada / fase de intensificação -> apenas seleção e crossover (obs: indivíduos ainda podem aparecer fora de seu contexto, referente a fase)

# Alba e Dorronsoro (2005) - indivíduos podem interagir apenas com seus vizinhos -> intensificação entre vizinhança.

Ao mudar a topologia da grid -> vizinhança é alterada e exploração é promovida.

A topologia da grid é controlada por gatilhos ativados por um controle adaptativo => ex: se a velocidade de convergência cai abaixo de um limiar, a topologia é alterada de modo a promover maior intensificação

\* Abordagem baseada em árvore ancestral (Crepinsek et al., 2011):

A evolução de uma população é armazenada em uma árvore ancestral. Diferentes medidas de diversidade podem ser usadas para encontrar similaridades na árvore.

Similaridade entre pai e prole > Limiar (limite da vizinhança) => árvore é dividida e gera-se novas árvores de intensificação.

A raiz de uma árvore de intensificação é obtida por exploração e os demais nós por intensificação.

Se dois nós raiz estão conectados, então uma árvore de exploração é derivada

[pg25-27]

Conclusões:

Alguns temas que requerem mais atenção:

+ exploração e exploitation devem ser formalmente definidas levando em conta o problema

+ é necessário realizar mais pesquisas para entender melhor a contribuição dos diversos operadores para com a exploração e a intensificação

+ é preciso descobrir boas relações entre exploração e intensificação para diferentes tipos de problemas

+ é preciso entender melhor a relação entre a representação de um indivíduo e as operações de exploração e intensificação

- + novas propostas de mensuração direta de exploração e intensificação também são importantes para o ajuste de parâmetros online
- + testar novas abordagens em relação a quando as etapas de exploração e intensificação devem ocorrer (isoladas/paralelas?! etapas alternantes?!)
- + entender melhor a influência da diversidade para o balanço adequado entre exploração e intensificação
- + avaliar o quão efetivas são as medidas existentes para controle explícito de exploração e intensificação