

# Otimização Combinatória em testes

Rafael Grisotto e Souza - RA 192765

Vinícius Loti de Lima - RA 209829

Paulo Henrique Carvalho de Moraes - RA 192877

2 de junho de 2018

## Questão 1.

Resumo de Search-Based Software Testing. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5954405/>

Descrever EvoSuite (meta heurística) <http://www.evosuite.org/publications/>

Terminar: Resumo SBST e dizer o que iremos fazer com base nos slides, perguntas de pesquisa, avaliar os métodos e etc.

Olhar os artigos deles para fazer experimentos.

Terminar Evosuite

Adicionar outras metaheurística e limpar um pouco o texto.

Alternativas para melhorar os resultados: meta heurística a, b, c, ...

Trabalho 2 começa aqui: [1] Projetar e rodar experimento com todas ou um subconjunto e comparar.

## Notes

- ☐ Precisa falar das metaheurísticas, quais iremos usar, algum por que de cada uma e depois dizer como elas estão organizadas na seção . . . . . 4
- ☐ A descrição do BRKGA esta a mais incompleta. Precisa adicionar bastante coisa e descrever melhor . . . . . 6
- ☐ Aqui precisamos apenas deixar fluido. acho que não precisa de mais conteúdo . . . . . 6

# 1 Referencial EvoSuite

*EvoSuite* é uma ferramenta que automatiza a geração de suítes de testes com alta taxa de cobertura, pequenas o suficiente e fornece asserções. Ele gera as suítes de testes tanto para classes individuais quanto para projetos inteiros, sem requerer comandos complicados adicionais. Esta ferramenta é livre, e pode ser usada em linha de comando ou como plugins para as plataformas de desenvolvimento como por exemplo o Eclipse<sup>1</sup> [4].

O *EvoSuite* utiliza *whole test suite generation* e *Mutation-based assertion generation* para alcançar os seus objetivos eficientemente, os quais serão descritos a seguir.

## 1.1 Whole Test Suite Generation

Uma abordagem comum na literatura é gerar um caso de teste para cada meta individual de cobertura (ex, *branches in branch coverage*), e então os combinam em uma única suíte de teste. Porém, o tamanho resultante da suíte de testes é difícil de prever pois um caso de teste gerado para uma meta pode implicitamente também cobrir qualquer quantidade de metas de cobertura à frente. Ou seja, a ordem em que cada meta é escolhida pode desempenhar um papel importante, pois pode haver dependências entre elas. Há outros problemas quando se considera uma meta de cada vez, como metas que podem ser mais difíceis de cobrir do que outras, ou até mesmo serem inviáveis [5].

Para superar esses problemas, *whole test suite generation* é uma abordagem que não produz casos de testes para cada meta individual de cobertura, ao invés disso foca em suítes de testes visando um completo critério de cobertura. Otimizando em relação ao critério de cobertura ao invés de metas individuais de cobertura tem resultados que não são influenciados pela ordem, pela dificuldade nem pela inviabilidade dos casos de testes [4].

*EvoSuite* implementa *whole test suite generation* como um algoritmo genético, onde uma suíte de testes é considerada como uma solução candidata. Cada suíte de teste consiste de um número variável de casos de testes, que por sua vez, consiste em uma sequência de instruções. O crossover entre duas suítes de testes são trocados casos de testes entre si baseado em uma escolha aleatória da posição do crossover. A mutação de uma suíte de teste adiciona novos casos de testes, ou modifica testes individuais. Já a mutação de casos de testes são adicionados, removidos ou mudados instruções ou parâmetros.

O *fitness* dos indivíduos é calculado com base a um critério de cobertura, no caso o *EvoSuite* usa *branch coverage* como critério de teste. Para que seja realizada a evolução são recompensados aqueles indivíduos os quais possuem uma melhor cobertura. Quanto maior o tamanho das suítes de testes maior a chance de cobrir as metas de cobertura, e o *EvoSuite* permite que a busca aprofunde em sequências longas, porém é aplicada várias técnicas de *bloat control*. Essa técnica de *bloat control* assegura que indivíduos não fiquem excessivamente muito grandes, com isso, no fim da busca as suítes de testes são minimizadas tal que apenas instruções contribuindo para a cobertura permaneçam.

## 1.2 Mutation-Based Assertion Generation

Os casos de testes precisam de algum tipo de testes de oráculo manual para que assim o engenheiro de software verifique e capture a correção da unidade sobre testes que não se pode detectar com oráculos automatizados. No caso de testes unitários esses oráculos manuais geralmente são asserções. Dado um teste de unidade gerado automaticamente, existe um número finito de código que pode ser gerado uma asserção. Porém mesmo que seja limitado, mostrar todas as asserções para o

---

<sup>1</sup><http://www.evosuite.org/downloads/>

desenvolvedor pode ser problemático, pois para uma falha seja detectada o desenvolvedor precisa verificar a corretude das asserções, e muitas delas podem ser irrelevantes. Semelhante a isso, um caso de teste pode falhar em um ponto posterior, indicando falha de regressão, quando de fato ele possui muitas asserções e isso causa várias restrições, assim conduzindo a falsos alarmes [4].

Para determinar a importância e efetividade das asserções, o EvoSuite aplica testes de mutação. Em testes de mutação, defeitos (mutantes) são semeados no programa testados nas suítes de testes. Quanto mais defeitos detectados com o menor número de asserções melhor a qualidade do caso de teste, entretanto, se os defeitos não forem encontrados significa que o caso de teste precisa de melhoras. Após a geração dos casos de testes, o EvoSuite roda cada caso de teste no programa sem modificações assim como nos mutantes criados, assim analisando quais defeitos são encontrados pelas asserções. Após isto o EvoSuite seleciona as asserções suficientes para encontrar a maior quantidade de defeitos no programa em análise.

## 2 Meta-Heurísticas

Meta-heurística é um subcampo primário da otimização estocástica, a qual consiste de algoritmos e técnicas que empregam algum grau de aleatoriedade para encontrar a solução ótima (ou a melhor possível) para problemas reconhecidamente difíceis. Luke [9] ressalva que meta-heurística é um termo que pode gerar desentendimentos uma vez que não se trata de heurística sobre (ou para) heurísticas, o que não é necessariamente verdade para todos os algoritmos.

Precisa falar das metaheurísticas, quais iremos usar, algum por que de cada uma e depois dizer como elas estão organizadas na seção

### 2.1 Colônia de formigas

### 2.2 Colônia de abelhas

### 2.3 Enxame de partículas

### 2.4 swarm particles optimization

### 2.5 artificial bee colony

### 2.6 firefly algorithm

### 2.7 Algoritmo Genético

Um algoritmo genético simula a seleção natural, onde cada indivíduo compete com os outros para sobreviver com base em sua aptidão (*fitness*). Os indivíduos que sobrevivem ao passo de seleção passam por operações genéticas (cruzamentos e mutações), simulando o que ocorre na biologia, para assim criar uma nova população.

### 2.8 Método de seleção de indivíduos

Torneio funciona que até que se tenha cromossomos suficientes para fazer a recombinação, nesse caso 4, dois cromossomos são escolhidos aleatoriamente da população, usando uma distribuição de probabilidade uniforme, e o de melhor *fitness* é selecionado para o processo de recombinação.

### 2.9 Método de *crossover*

Operador de *crossover* *C1* são dados dois pais,  $p_1$  e  $p_2$ , é escolhido um ponto de corte até o qual o filho será igual ao  $p_1$ . Então, os elementos que faltarem no cromossomo filho (todos os clientes faltantes até o ponto de corte) são inseridos no filho seguindo a ordem em que aparecem em  $p_2$ .

Operador de *crossover* do tipo *crossover* *OX*, por se tratar de um cruzamento para codificação de permutação que, além de ser simples, exige um baixo custo computacional quando comparado com os outros esquemas de recombinação para a representação de permutação, desta maneira um maior número de recombinações são possíveis para um tempo fixo de processamento da simulação.

Outro método de *crossover* de dois indivíduos  $A$  e  $B$  é usando *crossover* de dois pontos, que é feito selecionando-se aleatoriamente 2 locus nas posições  $L$  e  $R$ , com  $L < R$ , para serem os pontos da troca. O primeiro indivíduo é gerado a partir da fusão entre as posições  $[0, L]$  e  $]R, size(A) - 1]$  de  $A$  e as posições  $]L, R]$  de  $B$ , já o segundo indivíduo é gerado a partir das posições  $[0, L]$  e  $]R, size(B) - 1]$  de  $B$  e as posições  $]L, R]$  de  $A$ .

Por fim, o *Uniform Crossover* em vez de escolher aleatoriamente dois pontos de cruzamento, a cada locus, um pai é escolhido aleatoriamente para ter seu alelo copiado; o alelo deste pai é

copiado para o primeiro descendente enquanto o alelo do outro pai do mesmo locus é copiado para o segundo descendente.

Da mesma maneira que no método de *crossover* de dois pontos, após a criação da nova geração através desta recombinação, todos os descendentes são verificados e, para todo par de locus consecutivos com alelos iguais a 1, um destes locus é escolhido aleatoriamente e seu alelo alterado para 0.

Após o *crossover*, é necessário fazer a correção de possíveis indivíduos inválidos segundo as restrições do problema.

### 2.9.1 Método de mutação

Para uma população, são visitados todos os cromossomos e cada um será mutado se for escolhido um número aleatório maior que a taxa de mutação utilizada. Existe um valor  $1/m$  [6] que diz ser um valor ideal para mutações, onde  $m$  é o tamanho da instância de entrada.

Após a mutação, também é necessário fazer correções, pois pode haver indivíduos inválidos devido às restrições do problema.

## 2.10 *Steady-state*

Tipicamente, a execução de um algoritmo genético é dividido em gerações que são substituídas (quase que por completo) a cada iteração do algoritmo. No caso do algoritmo genético *steady state* apenas alguns indivíduos são substituídos ao final de cada iteração.

Neste processo, dois pais devem ser selecionados da população atual e um filho deve ser gerado pelo processo de *crossover*. Em seguida, o pior indivíduo dentre ambos os pais e filho é removido e os outros dois são realocados (se necessário) na população. Com isso, o conceito de gerações passa a não fazer sentido pois, neste caso, tem-se apenas um filho gerado enquanto o resto da população permanece constante.

### 2.10.1 Manutenção de diversidade

Para manter os indivíduos diversos e evitar a convergência muito cedo, pode ser usado uma função que diversifica a população após a seleção de pais, criação e mutação da geração atual.

Neste caso, realizam-se testes 2 a 2 em cada indivíduo e se os indivíduos possuem um número maior que o valor pré-definido (0.5%, por exemplo) de alelos iguais, o primeiro dos dois sofre uma mutação aleatória em um locus.

## 2.11 GRASP

O GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) para problemas de otimização combinatória foi introduzida por Feo e Resende [3]. O GRASP tem sua iteração primeiramente a construção de uma solução inicial a partir de uma heurística construtiva gulosa e aleatória. Depois, é realizado uma busca local com intenção de explorar a vizinhança da solução inicial até atingir um mínimo local do espaço de soluções. Após um critério de parada como quantidade de iterações ou tempo de processamento o GRASP devolve a melhor solução encontrada e termina sua execução.

### 2.11.1 Busca Local

Método de Busca Local: regula o tipo de busca realizada na fase de busca local. Aceita valores '*best improving*' ou '*first improving*'. O primeiro busca por toda a vizinhança a procura da me-

lhor solução local do valor objetivo possível, enquanto o segundo procura apenas pela primeira melhoria no valor objetivo;

## 2.12 BRKGA

O BRKGA (biased random-key genetic algorithm)[8] é uma metaheurística para encontrar uma solução ótima ou próxima da ótima. É uma variação do RKGA (random-key genetic algorithms) [2] e se obtém uma solução viável para o problema através da decodificação de uma solução codificada. A solução codificada são vetores de chaves aleatórias em um intervalo de números reais contínuo  $(0, 1]$  e a decodificação é uma etapa que mapeia um vetor de chaves aleatórias numa solução do problema de otimização e calcula o seu custo. Note que o BRKGA tem como seu algoritmo sendo independente do problema.

De forma resumida, a definição de algumas características do BRKGA:

- Codificação de uma solução com chaves aleatórias em intervalo contínuo  $[0, 1]$
- Geração de população inicial com  $p$  vetores de  $n$  chaves aleatórias
- Método de seleção de indivíduos é ordenado pelo *fitness* e gerado dois grupos, elite e não-elite. Após, é escolhido um pai do conjunto elite e o outro é escolhido do conjunto não-elite. Com estes é gerado a próxima geração.

Todas as variações descritas no algoritmo genético 2.7 são possíveis de se aplicadas no BRKGA.

## 2.13 Busca Tabu

A Busca Tabu é uma busca local que permite movimentos que podem não melhorar a solução atual. Para evitar ciclos, existe um mecanismo chamado lista tabu onde os últimos movimentos realizados ficam armazenados por um dado número de iterações, chamado *tenure*. Os movimentos que estão na lista de tabus ficam proibidos, a menos que um dado critério de aspiração seja satisfeito. Caso um critério de aspiração seja satisfeito o movimento é permitido. A heurística foi originalmente proposta por Glover [7] e nos últimos 20 anos centenas de artigos utilizam Busca Tabu em diversos problemas de combinatória e mostrando ser bastante eficaz com resultados bem próximos do ótimo ou conseguindo o ótimo [6].

Na Busca Tabu precisamos definir muito bem o espaço de busca e a estrutura da vizinhança. Definir os critérios da restrição de movimentos. Pode ser complicado deixar a metaheurística suficientemente genética para ser usada no framework EvoSuite, porém podemos pensar em casos não muito gerais e aplicar mecanismos de busca por intensificação e por diversidade.

### 2.13.1 Intensificação

Uma possível intensificação por vizinhança é que no qual são explorados todos os movimentos possíveis (inserção, remoção e troca) com quaisquer três elementos.

### 2.13.2 Método de Busca Local

- *Best Improving*: onde toda a exploração da vizinhança de uma solução é dada até a exaustão, ou seja, todos os elementos são analisados até que o mínimo local seja encontrado. Como a busca está restrita a vizinhança da solução o mínimo encontrado é local, e não se tem

A descrição do BRKGA esta a mais incompleta. Precisa adicionar bastante coisa e descrever melhor

Aqui precisamos apenas deixar fluido, acho que não precisa de mais conteúdo

garantida quanto a otimalidade global. No mesmo intuito de buscar por soluções sempre factíveis, a fim de não aplicar operadores de reparo nas soluções, a técnica de *best improving* só analisa a vizinhança factível.

- *First Improving*: a busca na vizinhança é feita usando as técnicas de inserção, remoção e troca. Todas as opções factíveis para as três técnicas são colocadas em uma lista e um dos elementos dessa lista é selecionado de forma aleatória, assim que a primeira melhora é encontrada o processo de busca nessa vizinhança para e a lista é atualizada para contemplar as novas opções factíveis.

### 2.13.3 *Surrogate Objective*

Ao resolver um problema por meta-heurísticas, ou ainda, heurísticas, é imprescindível a escolha de uma boa função de avaliação da solução. Por vezes, a melhor escolha para a função de avaliação não é a função objetivo, seja porque o calculo da função objetivo tem alto custo computacional ou ainda porque ela não trás informações precisas sobre a solução que está sendo tratada. Nesses casos é interessante o uso de uma função de avaliação diferente, conhecida também como *surrogate objective*.

### 2.13.4 Diversificação por Reinício

Envolve forçar alguns componentes que são raramente utilizados na solução e reiniciar o processo de busca a partir deste ponto. Seja  $t$  o *tenure*, quando a busca é reiniciada são colocados os  $t$  movimentos mais frequentes no tabu, colocando primeiro o menos frequente e por o último o mais frequente. A frequência é calculada somando 1 cada vez que o movimento é realizado pelo operador de busca local. A frequência não é reiniciada quando a busca recomeça. Quando a busca reinicia uma nova solução inicial é construída.

## Referências

- [1] Andrea Arcuri. “RESTful API Automated Test Case Generation”. Em: *Software Quality, Reliability and Security (QRS), 2017 IEEE International Conference on*. IEEE. 2017, pp. 9–20.
- [2] James C Bean. “Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization”. Em: *ORSA journal on computing* 6.2 (1994), pp. 154–160.
- [3] Thomas A Feo e Mauricio GC Resende. “A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem”. Em: *Operations research letters* 8.2 (1989), pp. 67–71.
- [4] Gordon Fraser e Andrea Arcuri. “Evosuite: automatic test suite generation for object-oriented software”. Em: *Proceedings of the 19th ACM SIGSOFT symposium and the 13th European conference on Foundations of software engineering*. ACM. 2011, pp. 416–419.
- [5] Gordon Fraser e Andrea Arcuri. “Whole test suite generation”. Em: *IEEE Transactions on Software Engineering* 39.2 (2013), pp. 276–291.
- [6] Michel Gendreau e Jean-Yves Potvin. *Handbook of metaheuristics*. Vol. 2. Springer, 2010.
- [7] Fred Glover. “Future paths for integer programming and links to artificial intelligence”. Em: *Computers & operations research* 13.5 (1986), pp. 533–549.
- [8] José Fernando Gonçalves e Mauricio GC Resende. “Biased random-key genetic algorithms for combinatorial optimization”. Em: *Journal of Heuristics* 17.5 (2011), pp. 487–525.

[9] Sean Luke. *Essentials of metaheuristics*. Vol. 113. Lulu Raleigh, 2009.