

# Relatório de VVS01

Gabriel Henriques - 58182

## Line Coverage

O *Line Coverage* foi atingido em todos os métodos públicos ao fazer o mínimo de testes necessários que passassem pelo menos uma vez por cada linha de código. Todos os métodos obtiveram coverage verde com exceção do *longestPrefixOf* e *put*, pois não foram feitos testes suficientes para que passassem em todas branches.

```
public String longestPrefixOf(String query) {
    if (query == null) //n1 P1:C1
        throw new IllegalArgumentException("calls longestPrefixOf() with null argument"); //2
    if (query.length() == 0) //n3 P2:C2
        return null; //n4
    int length = 0; //n5
    Node<T> x = root; //n5
    int i = 0; //n5
    while (x != null && i < query.length()) { //n6 P3:C3,C4
        char c = query.charAt(i); //n7
        if (c < x.c) /*n8 P4:C5 */ x = x.left; //n9
        else if (c > x.c) /*n10 P5:C6 */ x = x.right; //n11
        else {
            i++; //n12
            if (x.val != null) //n13 P6:C7
                length = i; //n14
            x = x.mid; //n15
        }
    }
    return query.substring(0, length); //16
}
```

```
public void put(String key, T val) {
    if (key == null)
        throw new IllegalArgumentException("calls put() with null key");
    if (!contains(key))
        n++;
    root = put(root, key, val, 0);
}
```

## Branch Coverage

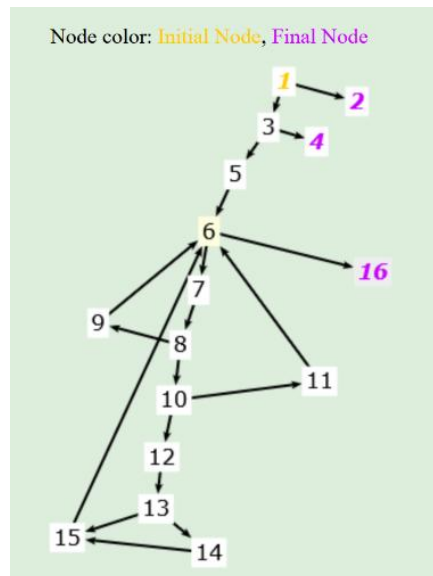
No *Branch Coverage*, foram feitos todos os testes já escritos no *Line Coverage*, com a adição de mais 3 testes no *longestPrefixOf* e mais 1 teste no *put*, de modo a satisfazer a coverage que antes aparecia em amarelo, por não serem testadas todas as branches dos métodos. Demonstrou-se então que o *Branch Coverage* testa mais exaustivamente o sistema, sem necessitar de uma maior análise em relação ao *Line Coverage*.

```
public String longestPrefixOf(String query) {
    if (query == null) //n1 P1:C1
        throw new IllegalArgumentException("calls longestPrefixOf() with null argument"); //2
    if (query.length() == 0) //n3 P2:C2
        return null; //n4
    int length = 0; //n5
    Node<T> x = root; //n5
    int i = 0; //n5
    while (x != null && i < query.length()) { //n6 P3:C3,C4
        char c = query.charAt(i); //n7
        if (c < x.c) /*n8 P4:C5 */ x = x.left; //n9
        else if (c > x.c) /*n10 P5:C6 */ x = x.right; //n11
        else {
            i++; //n12
            if (x.val != null) //n13 P6:C7
                length = i; //n14
            x = x.mid; //n15
        }
    }
    return query.substring(0, length); //16
}

public void put(String key, T val) {
    if (key == null)
        throw new IllegalArgumentException("calls put() with null key");
    if (!contains(key))
        n++;
    root = put(root, key, val, 0);
}
```

## Edge-Pair Coverage

Para satisfazer o *Edge Pair Coverage*, foi necessário fazer o grafo do método *longestPrefixOf* tal como representado na seguinte imagem:



Após a criação do grafo, foi inserido no site <https://cs.gmu.edu:8443/offutt/coverage/GraphCoverage> os seus edges, initial node e final nodes, e gerado pelo Algoritmo 2 os paths a percorrer pelos testes de modo a satisfazer o *Edge Pair Coverage*:

Test Paths	Test Requirements that are toured by test paths directly
[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,16]	[1,3,5], [3,5,6], [5,6,7], [6,7,8], [7,8,10], [8,10,12], [10,12,13], [12,13,15], [13,15,6], [15,6,16]
[1,3,5,6,7,8,9,6,7,8,10,11,6,16]	[1,3,5], [3,5,6], [5,6,7], [6,7,8], [7,8,9], [7,8,10], [8,9,6], [8,10,11], [9,6,7], [10,11,6], [11,6,16]
[1,3,5,6,7,8,10,11,6,7,8,9,6,16]	[1,3,5], [3,5,6], [5,6,7], [6,7,8], [7,8,9], [7,8,10], [8,9,6], [8,10,11], [9,6,16], [10,11,6], [11,6,7]
[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,6,7,8,9,6,16]	[1,3,5], [3,5,6], [5,6,7], [6,7,8], [7,8,9], [7,8,10], [8,9,6], [8,10,12], [9,6,16], [10,12,13], [12,13,14], [13,14,15], [14,15,6], [15,6,7]
[1,3,5,6,16]	[1,3,5], [3,5,6], [5,6,16]
[1,2]	[1,2]
[1,3,4]	[1,3,4]

## Prime Path Coverage

Para o Prime Path Coverage do método *longestPrefixOf*, foi feito o mesmo procedimento, mas foi escolhido o Algoritmo 1 que gerou mais paths, porém mais curtos, reduzindo assim a complexidade na escrita dos testes:

Test Paths	Test Requirements that are toured by test paths directly
[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,6,7,8,9,6,16]	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15], [6,7,8,10,12,13,14,15,6], [7,8,10,12,13,14,15,6,7], [8,10,12,13,14,15,6,7,8], [10,12,13,14,15,6,7,8,9], [7,8,9,6,16], [6,7,8,9,6]
[1,3,5,6,7,8,9,6,7,8,10,12,13,14,15,6,16]	[7,8,10,12,13,14,15,6,16], [6,7,8,10,12,13,14,15,6], [9,6,7,8,10,12,13,14,15], [1,3,5,6,7,8,9], [7,8,9,6,7], [8,9,6,7,8], [6,7,8,9,6]
[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,6,7,8,10,12,13,15,6,16]	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15], [6,7,8,10,12,13,14,15,6], [7,8,10,12,13,14,15,6,7], [8,10,12,13,14,15,6,7,8], [13,14,15,6,7,8,10,12,13], [12,13,14,15,6,7,8,10,12], [10,12,13,14,15,6,7,8,10], [7,8,10,12,13,15,6,16], [6,7,8,10,12,13,15,6], [15,6,7,8,10,12,13,15]
[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,6,7,8,10,12,13,14,15,6,16]	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15], [7,8,10,12,13,14,15,6,16], [6,7,8,10,12,13,14,15,6], [7,8,10,12,13,14,15,6,7], [8,10,12,13,14,15,6,7,8], [13,14,15,6,7,8,10,12,13], [13,14,15,6,7,8,10,12,13], [12,13,14,15,6,7,8,10,12], [14,15,6,7,8,10,12,13,14], [15,6,7,8,10,12,13,14,15], [10,12,13,14,15,6,7,8,10]
[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,7,8,10,12,13,14,15,6,16]	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15], [7,8,10,12,13,14,15,6,16], [6,7,8,10,12,13,14,15,6], [15,6,7,8,10,12,13,14,15], [7,8,10,12,13,15,6,7], [8,10,12,13,15,6,7,8], [6,7,8,10,12,13,15,6], [12,13,15,6,7,8,10,12], [13,15,6,7,8,10,12,13], [10,12,13,15,6,7,8,10]
[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,6,7,8,10,11,6,16]	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15], [6,7,8,10,12,13,14,15,6], [7,8,10,12,13,14,15,6,7], [8,10,12,13,14,15,6,7,8], [12,13,14,15,6,7,8,10,11], [10,12,13,14,15,6,7,8,10], [7,8,10,11,6,16], [6,7,8,10,11,6]
[1,3,5,6,7,8,10,11,6,7,8,10,12,13,14,15,6,16]	[7,8,10,12,13,14,15,6,16], [6,7,8,10,12,13,14,15,6], [11,6,7,8,10,12,13,14,15], [1,3,5,6,7,8,10,11], [8,10,11,6,7,8], [7,8,10,11,6,7], [6,7,8,10,11,6], [10,11,6,7,8,10]
[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,7,8,9,6,16]	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15], [7,8,10,12,13,15,6,7], [8,10,12,13,15,6,7,8], [6,7,8,10,12,13,15,6], [10,12,13,15,6,7,8,9], [7,8,9,6,16], [6,7,8,9,6]
[1,3,5,6,7,8,9,6,7,8,10,12,13,15,6,16]	[7,8,10,12,13,15,6,16], [9,6,7,8,10,12,13,15], [6,7,8,10,12,13,15,6], [1,3,5,6,7,8,9], [7,8,9,6,7], [8,9,6,7,8], [6,7,8,9,6]
[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,7,8,10,12,13,15,6,16]	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15], [7,8,10,12,13,15,6,7], [7,8,10,12,13,15,6,16], [8,10,12,13,15,6,7,8], [6,7,8,10,12,13,15,6], [12,13,15,6,7,8,10,12], [13,15,6,7,8,10,12,13], [15,6,7,8,10,12,13,15], [10,12,13,15,6,7,8,10]
[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,7,8,10,11,6,16]	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15], [7,8,10,12,13,15,6,7], [8,10,12,13,15,6,7,8], [6,7,8,10,12,13,15,6], [12,13,15,6,7,8,10,11], [10,12,13,15,6,7,8,10], [7,8,10,11,6,16], [6,7,8,10,11,6]
[1,3,5,6,7,8,10,11,6,7,8,10,12,13,15,6,16]	[7,8,10,12,13,15,6,16], [1,3,5,6,7,8,10,11], [6,7,8,10,12,13,15,6], [11,6,7,8,10,12,13,15], [8,10,11,6,7,8], [7,8,10,11,6,7], [6,7,8,10,11,6], [10,11,6,7,8,10]
[1,3,5,6,7,8,10,11,6,7,8,9,6,16]	[1,3,5,6,7,8,10,11], [8,10,11,6,7,8], [7,8,10,11,6,7], [6,7,8,10,11,6], [10,11,6,7,8,9], [7,8,9,6,16], [6,7,8,9,6]
[1,3,5,6,7,8,9,6,7,8,10,11,6,16]	[1,3,5,6,7,8,9], [9,6,7,8,10,11], [7,8,10,11,6,16], [6,7,8,10,11,6], [7,8,9,6,7], [8,9,6,7,8], [6,7,8,9,6]
[1,3,5,6,7,8,10,11,6,7,8,10,11,6,16]	[1,3,5,6,7,8,10,11], [8,10,11,6,7,8], [7,8,10,11,6,7], [7,8,10,11,6,16], [6,7,8,10,11,6], [10,11,6,7,8,10], [11,6,7,8,10,11]
[1,3,5,6,7,8,9,6,7,8,9,6,16]	[1,3,5,6,7,8,9], [7,8,9,6,7], [7,8,9,6,16], [8,9,6,7,8], [6,7,8,9,6], [9,6,7,8,9]
[1,3,5,6,16]	[1,3,5,6,16]
[1,3,4]	[1,3,4]
[1,2]	[1,2]

## All-Du-Paths Coverage

No *All-Du-Paths Coverage* para o *longestPrefixOf*, voltou-se a usar o mesmo grafo já criado anteriormente, mas desta vez foi também analisado em que *nodes* e *edges* cada variável é definida e usada, obtendo a seguinte tabela:

Nodes & Edges: l	def(l)	use(l)
1	{query}	
(1,2), (1,3)		{query}
3		
(3,4), (3,5)		{query}
5	{len, x, i}	
(5,6)		
6		
(6,7), (6,16)		{x, i, query}
7	{c}	{query, i}
(7,8)		
8		
(8,9), (8,10)		{c, x}
9	{x}	{x}
(9,6)		
10		
(10,11), (10,12)		{c, x}
11	{x}	{x}
(11,6)		
12	{i}	{i}
(12,13)		
13		
(13,14), (13,15)		{x}
14	{len}	{i}
(14,15)		
15	{x}	{x}
(15,6)		
16		{query, len}

Posteriormente, foi inserido no site

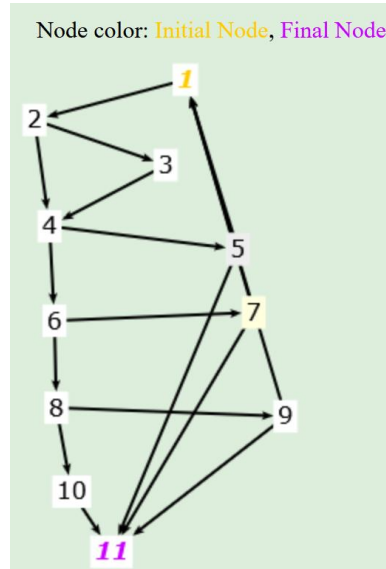
<https://cs.gmu.edu:8443/offutt/coverage/DFGraphCoverage> as edges, initial node, final nodes, defs e uses das variáveis e gerado os test paths para cada variável:

Variable	All DU Path Coverage
query	[1,3,4]
	[1,2]
	[1,3,5,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,9,6,16]
length	[1,3,5,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,6,16]
x	[1,3,5,6,7,8,9,6,16]
	[1,3,5,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,11,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,9,6,7,8,9,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,9,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,9,6,7,8,10,11,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,9,6,7,8,10,12,13,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,9,6,7,8,10,12,13,14,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,11,6,7,8,9,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,11,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,11,6,7,8,10,11,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,11,6,7,8,10,12,13,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,11,6,7,8,10,12,13,14,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,7,8,9,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,7,8,10,11,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,7,8,10,12,13,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,7,8,10,12,13,14,15,6,16]
i	[1,3,5,6,7,8,9,6,16]
	[1,3,5,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,7,8,9,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,6,7,8,9,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,15,6,7,8,10,12,13,15,6,16]
c	[1,3,5,6,7,8,10,12,13,14,15,6,7,8,10,12,13,15,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,10,11,6,16]
	[1,3,5,6,7,8,9,6,16]

Algumas variáveis tinham test path iguais, fazendo com que um mesmo path conseguisse satisfazer diversos requisitos, então não foi necessário escrever tantos testes unitários quantos os gerados.

## All-Coupling-Use-Paths Coverage

Para satisfazer o *All-Coupling-Use-Paths*, foi necessário analisar o método *put* e criar uma representação dele em grafo. As edges dos nodes 5,7 e 9 para o node 1 representam as chamadas recursivas.



Com o grafo feito, foi necessário analisar em que nodes são feitas as últimas definições das variáveis antes das chamadas recursivas, e também em que nodes da função chamada são primeiramente usadas as variáveis passadas, obtendo a seguinte tabela:

Last-def	First-use
key: {1}	key: {i}
val: {1}	val: {v, vii, ix, x}
x: {1,3}	x: {ii}
d: {1,9}	d: {i}
x' : {v, vii, ix, x}	x' : {11}

Com estas informações, foi então possível verificar que paths são necessários os testes percorrerem de modo a satisfazer a coverage *All-Coupling-Use-Paths*:

Paths:

key	key {1} -> key {i}			
val	val {1} -> val {v}	val {1} -> val {vii}	val {1} -> val {ix}	val {1} -> val {x}
x	x {1} -> x {ii}	x {3} -> x {ii}		
d	d {1} -> d {i}	d {9} -> d {i}		
x'	x' {v} -> x' {11}	x' {vii} -> x' {11}	x' {ix} -> x' {11}	x' {x} -> x' {11}

## Logic-based Coverage

Como o método *longestPrefixOf* tem predicados simples, onde apenas um deles tem mais que uma cláusula, foi decidido não complicar demasiado e escolher um dos critérios básicos. Neste caso, foi escolhido o *Combinatorial Coverage* por ser o mais abrangente sem complicar demasiado a realização dos testes.

## Base Choice Coverage

No *Base Choice Coverage*, cada uma das características foi subdividida binariamente, com exceção da última que foi ternariamente. Foi escolhido um *Base Choice* de acordo com o caso que se achou mais comum:

1. A nova *key* não estar ainda na *Trie*
2. Ainda não existir um prefixo da nova *key* na *Trie*
3. A *Trie* não estar vazia
4. A nova *key* ser uma *key* típica lexicograficamente

Foi feito um teste para a *Base Choice* e também testes para cada alteração de característica da *Base Choice*.

## PIT Mutation Coverage

Ao correr as mutações do programa através do PIT, foi possível em (quase) todas as *Coverage Criteria* do *longestPrefixOf* matar os mutantes gerados:

```
135     public String longestPrefixOf(String query) {
136 1       if (query == null) //n1 P1:C1
137           throw new IllegalArgumentException("calls longestPrefixOf() with null argument"); //2
138 1       if (query.length() == 0) //n3 P2:C2
139 1           return null; //n4
140           int length = 0; //n5
141           Node<T> x = root; //n5
142           int i = 0; //n5
143 3       while (x != null && i < query.length()) { //n6 P3:C3,C4
144           char c = query.charAt(i); //n7
145 2           if (c < x.c) /*n8 P4:C5 */ x = x.left; //n9
146 2           else if (c > x.c) /*n10 P5:C6 */ x = x.right; //n11
147           else {
148 1               i++; //n12
149 1               if (x.val != null) //n13 P6:C7
150                   length = i; //n14
151                   x = x.mid; //n15
152           }
153       }
154 1       return query.substring(0, length); //16
```



Com exceção da *Line Coverage* que não foi capaz de matar o seguinte mutante:

```
136 1 if (query == null) //n1 P1:C1
137     throw new IllegalArgumentException("calls longestPrefixOf() with null argument"); //2
138 1 if (query.length() == 0) //n3 P2:C2
139 1     return null; //n4
140     int length = 0; //n5
141     Node<T> x = root; //n5
142     int i = 0; //n5
143 3 while (x != null && i < query.length()) { //n6 P3:C3,C4
144     char c = query.charAt(i); //n7
145 2 if (c < x.c) /*n8 P4:C5 */ x = x.left; //n9
146 2 else if (c > x.c) /*n10 P5:C6 */ x = x.right; //n11
147     else {
148 1         i++; //n12
149 1         if (x.val != null) //n13 P6:C7
150             length = i; //n14
151         x = x.mid; //n15
152     }
153 }
154 1 return query.substring(0, length); //16
```

143	1. changed conditional boundary → SURVIVED
	2. negated conditional → KILLED
	3. negated conditional → KILLED

Este mutante poderia ter sido detetado e morto com a adição do seguinte teste:

```
@Test
public void testWithQueryPrefixOfPut() {
    // Test added after PIT mutation testing
    // lines 1,2,4,6-20
    TST<Integer> tst = new TST<>();
    tst.put("c", 1);
    tst.put("cab", 1);
    assertEquals("c", tst.longestPrefixOf("ca"));
}
```

## JUnit QuickCheck

Para realizar os testes de QuickCheck, foi necessário acrescentar três métodos ao sistema: *equals()*, *delete()* e *clone()*. Foi também preciso criar três classes de geradores: *TrieGenerator*, *KeyGenerator* e *KeyListGenerator*.

Para testar a propriedade “The order of insertion of different keys does not change the final tree value” foi necessário receber uma *Trie*, uma lista de *Keys*, e um valor gerado aleatoriamente. Foi inicialmente clonada a *Trie* recebida e de seguida foram adicionadas as *Keys* à *Trie* original. Depois a ordem das *Keys* foi baralhada e foram adicionadas à *Trie* clonada. Por fim, comparou-se a *Trie* original com a *Trie* clonada.

Para testar a propriedade “If you remove all keys from a tree, the tree must be empty” foi necessário receber uma *Trie* gerada aleatoriamente. Foram removidas todas as *Keys* presentes na *Trie*, e de seguida comparou-se a *Trie* com uma *Trie* iniciada vazia, e também se verificou que o seu *size* é 0.

Para testar a propriedade “Given a tree, inserting and then removing the same key value will not change its initial value” foi necessário receber uma *Trie*, uma *Key*, e um valor gerado aleatoriamente. Foi inicialmente clonada a *Trie* recebida, e de seguida foi

adicionada a *Key* com o dado valor, e removida. Por fim comparou-se a *Trie* inicial (clonada) com a *Trie* final. Esta **propriedade não é verdadeira** para *Tries* que já contenham o valor a ser adicionado/removido, pois, após a adição/remoção, a *Trie* inicial seria diferente da final.

Para testar a propriedade “Selecting a stricter prefix keysWithPrefix returns a strict subset result” foi necessário receber uma *Trie*, uma lista de *Keys*, e um valor gerado aleatoriamente. Foram inicialmente buscadas todas as *Keys* da *Trie*, e uma delas foi selecionada aleatoriamente para ser a *Key* base. De seguida, foram adicionadas à *Trie* novas *Keys* aleatórias todas com o prefixo da *Key* base e guardou-se o *keysWithPrefix(base\_key)*. Por fim, foi verificado que com todos os prefixos possíveis da *Key* base (removendo caracter a caracter) obtém-se sempre um subconjunto de *keysWithPrefix(base\_key)*.

## Conclusão:

Executando todos os testes, o sistema ficou com uma coverage total de 80,2%. Faltou testar o método privado *collect* e os métodos, posteriormente adicionados, *equals* e *delete*. O método privado *get* tem uma linha de código impossível de alcançar, pois é relacionada com um check já feito previamente no seu método público.

Element	Coverage	Covered Instructions	Missed Instructions	Total Instructions
▼ VVS_assignment_1		2 940	325	3 265
▼ src/main/java		461	237	698
▼ startup		0	123	123
▼ sut		461	114	575
▼ TST.java		461	114	575
▼ TST<T>		461	114	575
collect(Node<T>, StringBuilder, int)		3	90	93
delete(String)		20	11	31
equals(Object)		44	8	52
get(Node<T>, String, int)		50	5	55
clone()		24	0	24
collect(Node<T>, StringBuilder, Queue)		48	0	48
contains(String)		15	0	15
get(String)		29	0	29
keys()		14	0	14
keysThatMatch(String)		16	0	16
keysWithPrefix(String)		40	0	40
longestPrefixOf(String)		60	0	60
put(Node<T>, String, T, int)		65	0	65
put(String, T)		27	0	27
size()		3	0	3