

# Greining reiknirita: Verkefni 3

Kennari: Páll Melsted

Bjarki Geir Benediktsson

Bjarni Jens Kristinsson

Tandri Gauksson

Skil: 6. apríl 2014

## 1 Lýsing á reikniritinu

Við byggðum lausn okkar á klasanum `KruskalMST.java`<sup>1</sup> sem er að finna á heimasíðu bókarinnar *Algorithms* eftir Sedgewick og Wayne. Smíður klasans tekur inn óstefnt vigtað net  $G = (V, E, W)$  og notar reiknirit Kruskals til að finna minnsta spanntré  $mst$  og vigt þess  $w$ .

Við skrifuðum nýja aðferð `secondMSTweight(EdgeWeightedGraph G, Edge e)` sem að finnur vigt minnsta spanntré netsins  $G_e = (V, E \setminus \{e\}, W)$ . Í `keyrsluforrit.java` finnum við fyrst  $mst$  og prentum vigt þess. Síðan tökum við hvern legg  $e \in mst$  (raðað í vaxandi röð eftir fyrri hniti  $e$ ) og finnum minnsta spanntré netsins  $G_e$  og prentum legginn  $e$  og vigt þess  $w_e$  á staðalúttak.

Við útfærðum `secondMSTweight(EdgeWeightedGraph G, Edge e)` svipað og smíðinn fyrir `KruskalMST`. Í staðinn fyrir að fara línulega í gegn um alla leggi  $V$  og kanna hvort þeir tengja saman samhengisþætti í skóginum fyrir netið þá byggjum við upp UF hlutinn með öllum leggjum úr  $mst \setminus \{e\}$ . Þetta skilur okkur eftir með tvo samhengisþætti, eða tvö tré í skóginum, og þá förum við í vaxandi röð í gegn um  $E$  og könnum hvort að leggurinn sé  $e$  og ef ekki hvort hann tengir saman samhengisþættina tvo. Ef hann gerir það þá erum við komin með minnsta spannandi hluttré fyrir  $G_e$ .

`KruskalMST.java` notast við eftirfarandi klasa frá sömu höfundum (við eyddum öllum `main()` aðferðum úr klösunum en aðrar breytingar eru taldar upp á eftir hverjum og einum klasa):

- `EdgeWeightedGraph.java`<sup>2</sup>
  - Breyttum öllum línunum sem að búa til nýjan hlut af taginu `Edge` til að nota heiltöluvigti í stað fleytitölu (sjá athugasemdir við `Edge.java`)
- `Queue.java`<sup>3</sup>
- `Edge.java`<sup>4</sup>
  - Breyttum vigtinni yfir í að vera heiltala í stað fleytitölu
  - `toString()` aðferðin gefur örlítið öðru vísi strengjaframsetningu á hnútunum
  - Bættum við `toString2()` til að prenta út hnút og vigti eins og er í `.out` skránum sem Páll gefur upp á heimasíðunni
  - Bættum við `equals()` aðferð
  - Bættum við klasann `lexiCompare` sem ber saman hnúta eftir orðabókaröðun
- `MinPQ.java`<sup>5</sup>
- `UF.java`<sup>6</sup>

<sup>1</sup><http://algs4.cs.princeton.edu/43mst/KruskalMST.java.html>

<sup>2</sup><http://algs4.cs.princeton.edu/43mst/EdgeWeightedGraph.java.html>

<sup>3</sup><http://algs4.cs.princeton.edu/43mst/Queue.java.html>

<sup>4</sup><http://algs4.cs.princeton.edu/43mst/Edge.java.html>

<sup>5</sup><http://algs4.cs.princeton.edu/24pq/MinPQ.java.html>

<sup>6</sup><http://algs4.cs.princeton.edu/15uf/UF.java.html>

- `Bag.java`<sup>7</sup>
- `Stack.java`<sup>8</sup>

## 2 Tímaflækja lausnarinnar

Hér er  $G$  upphaflega netið sem `KruskalMST` hluturinn er smíðaður með,  $V$  fjöldi hnúta þess og  $E$  fjöldi leggja.

Að búa til hlut af taginu `KruskalMST` tekur  $O(E \log V)$  tíma skv. bókinni. Hluturinn er minnsta spanntré  $G$  og inniheldur  $V-1$  leggi. Við köllum því  $\Theta(V)$  sinnum á `secondMSTweight` og greinum aðferðina svona:

1. Fyrst þarf að smíða `pq` af taginu `MinPQ`. Innsetning er innistæðubundið  $O(\log n)$  svo smíði og innsetning á  $E$  leggjum tekur  $O(E \log E)$ .
2. Að smíða hlut `uf` af taginu `UF` tekur  $V$  tíma. Að sameina samhengisdæmi `uf` tekur  $O(\log V)$  tíma en það er gert  $V$  sinnum. Þessi partur forritsins tekur því  $O(V + V \log V)$ .
3. Þegar farið er í gegn um `pq` og hann tæmdur þarf í versta falli að skoða alla leggina eða  $E$  talsins.

Nú er fjöldi leggja  $E$  í mesta lagi  $(V-1) + (V-2) + \dots + 1 = \frac{(V-1)(V-2)}{2}$  þ.a.  $E = O(V^2)$ . Keyrslutími `secondMSTweight` er því skv. ofantöldu

$$O(E \log E + V + V \log V + E) = O(E \log V^2 + V + E \log V + E) = O(E \log V).$$

Keyrslutími `keyrsluforrit.java` er  $T_{Kruskal} + (V-1)T_{secondMSTweight}$  eða

$$O(E \log V + (V-1) \cdot E \log V) = O(EV \log V).$$

---

<sup>7</sup><http://algs4.cs.princeton.edu/13stacks/Bag.java.html>

<sup>8</sup><http://algs4.cs.princeton.edu/13stacks/Stack.java.html>

## 3 Java kóði

### 3.1 KruskalMST.java

```
public class KruskalMST{
    // weight er summa e.weight() yfir öll e í mst.
    private int weight = 0;
    private Queue<Edge> mst = new Queue<Edge>();

    //~ Notkun: KruskalMST KMST = new KruskalMST(G);
    //~ Fyrir: G er hlutur af taginu EdgeWeightedGraph.
    //~ Eftir: KMST er minnsta spannandi tré fyrir G
    //~ (minnsti spannandi skógur ef G er ekki samanhangandi).
    public KruskalMST(EdgeWeightedGraph G) {
        // Raða leggjum G eftir vigt.
        MinPQ<Edge> pq = new MinPQ<Edge>();
        for (Edge e : G.edges()) {
            pq.insert(e);
        }

        UF uf = new UF(G.V());
        while (!pq.isEmpty() && mst.size() < G.V() - 1) {
            // uf inniheldur samhengisþætti nets af stærð G.V()
            // með mengi leggjum = mst.
            Edge e = pq.delMin();
            int v = e.either();
            int w = e.other(v);
            if (!uf.connected(v, w)) {
                uf.union(v, w);
                mst.enqueue(e);
                weight += e.weight();
            }
        }
    }

    //~ Notkun: w = KMST.secondMSTweight();
    //~ Fyrir: KMST inniheldur d og er minnsta spanntré fyrir G.
    //~ Eftir: w er vigt minnsta spannandi trés (eða skógar)
    //~ netsins G þegar leggurinn d hefur verið fjarlægður.
    public int secondMSTweight( EdgeWeightedGraph G, Edge d ){
        // Raða leggjum G eftir vigt.
        MinPQ<Edge> pq = new MinPQ<Edge>();
        for (Edge e : G.edges()) {
            pq.insert(e);
        }

        // Finn samhengisþætti KMST án leggsins d.
        UF uf = new UF(G.V());
        for (Edge e : this.edges()) {
            if(e.equals(d)) continue;
            int v = e.either();
            int w = e.other(v);
            uf.union(v,w);
        }
    }
}
```

```

    }

    // Finn þann legg í G, annan en d, sem tengir saman
    // samhengisþættina tvo og hefur minnsta vigt.
    while (!pq.isEmpty()) {
        Edge e = pq.delMin();
        if(e.equals(d)) continue;
        int v = e.either();
        int w = e.other(v);
        if (!uf.connected(v, w)) {
            return weight - d.weight() + e.weight();
        }
    }
    // d er eini leggurinn í G sem tengir samhengisþættina.
    return weight - d.weight();
}

//~ Notkun: Iterable<Edge> E = KMST.edges();
//~ Fyrir: KMST er hlutur af taginu KruskalMST.
//~ Eftir: E inniheldur öll stök mst.
public Iterable<Edge> edges() {
    return mst;
}

//~ Notkun: Iterable<Edge> E = KMST.sortedEdges();
//~ Fyrir: KMST er hlutur af taginu KruskalMST.
//~ Eftir: E inniheldur öll stök mst og er raðað vaxandi eftir fyrri hnút leggsins.
public Iterable<Edge> sortedEdges() {
    MinPQ<Edge> sorted = new MinPQ<Edge>(new Edge.lexiCompare());
    for (Edge e : mst) {
        sorted.insert(e);
    }
    return sorted;
}

//~ Notkun: w = KMST.weight();
//~ Fyrir: KMST er hlutur af taginu KruskalMST
//~ Eftir: w er heildarvigt leggjanna í KMST.
public int weight() {
    return weight;
}
}

```

### 3.2 keyrsluforrit.java

```

public class keyrsluforrit {
    public static void main(String[] args) {
        //~ Skanni sem les inn tölurnar
        java.util.Scanner scanner = new java.util.Scanner(System.in);
        int n = Integer.parseInt(scanner.nextLine()); //vitum að fyrsta línan er bara ein tala
        EdgeWeightedGraph EWG = new EdgeWeightedGraph(n);

        //~ F: Búið er að lesa inn eina línu af staðalinntaki.
        while (scanner.hasNext()) {

```

```

        //~ I: Búið er að lesa inn eina eða fleiri línur af staðalinntaki
        //~      og gera viðeigandi aðgerðir með þær.
        String line = scanner.nextLine(); //tekur inntak fram að næsta enter
        String[] S = line.split(" "); //fylki af orðunum í línunni (skipt eftir bilum)
        EWG.addEdge( new Edge( Integer.parseInt(S[0]),
                                Integer.parseInt(S[1]),
                                Integer.parseInt(S[2]) ));
    }
    //~ E: Búið er að lesa inn allar línur af staðalinntaki
    //~      og gera viðeigandi aðgerðir með þær.

    KruskalMST MST = new KruskalMST(EWG);
    System.out.println(MST.weight());
    for (Edge e : MST.sortedEdges()) {
        System.out.println(e.toString2() + " " + MST.secondMSTweight(EWG,e));
    }
}
}

```

### 3.3 Edge.java

```

    //~ Notkun: b = e.equals(d);
    //~ Fyrir:
    //~ Eftir: b == true þþaa e og d tengi saman sömu hnúta og hafi sömu vigt.
    public boolean equals(Edge that) {
        if(this.compareTo(that) != 0) return false;
        int t = that.either();
        int u = that.other(t);
        return (t == v && u == w) || (t == w && u == v);
    }

    //~ Notkun:
    //~ Fyrir:
    //~ Eftir:
    public static class lexiCompare implements Comparator<Edge> {
        public int compare(Edge e1, Edge e2){
            int fyrra1 = e1.either();
            int fyrra2 = e2.either();
            if (Integer.compare(fyrra1,fyrra2)==0)
                return Integer.compare(e1.other(fyrra1),e2.other(fyrra2));
            else
                return Integer.compare(fyrra1,fyrra2);
        }
    }

    /**
     * Returns a string representation of the edge.
     * @return a string representation of the edge
     */
    public String toString() {
        return v+" "+w+" "+weight;
    }
}

```

```
/**
 * Returns a string representation of the edge.
 * @return a string representation of the edge
 */
public String toString2() {
    return v+" "+w;
}
```