

## Überblick

### Programmieren mit Hadoop

- Einführung Apache Hadoop
- Ein- und Ausgabe, Serialisierung
- Auftragsverwaltung
- JAR-Dateien erstellen
- Verteilte Ausführung
- Dateisysteme in Hadoop

### Aufgabe 4

- Visualisierung
- Hadoop-Instanzen in der Cloud



## Apache Hadoop

- Freie Implementierung eines MapReduce-Frameworks
- Besteht aus mehreren Teilprojekten
  - **Common**: Gemeinsame Infrastruktur
  - **HDFS**: Verteiltes Dateisystem
  - **MapReduce**: MapReduce-Framework
- Implementierung in Java
- Bindings zu anderen Sprachen verfügbar (JNI)



## Apache Hadoop API

- `org.apache.hadoop.conf`  
Verwaltung der Konfiguration
- `org.apache.hadoop.fs`  
Dateisystem-Abstraktion
- `org.apache.hadoop.io`  
Serialisierung und Deserialisierung von Daten
- `org.apache.hadoop.mapreduce`  
MapReduce-Framework
- `org.apache.hadoop.util`  
Verschiedene Hilfsklassen



## Ein-/Ausgabe

([org.apache.hadoop.io](http://org.apache.hadoop.io))

- Objekte zur Bearbeitung durch MapReduce müssen in Dateien gespeichert werden können
- Zur Speicherung von Objekten muss bekannt sein, **welche** Daten **wie** abgelegt werden müssen
- Schnittstelle `WritableComparable` beschreibt Klassen, die
  - **serialisierbar** und **deserialisierbar** sind
  - untereinander **vergleichbar** sind
- Hadoop liefert Implementierung für elementare Datentypen mit:
  - `int` → `IntWritable`
  - `long` → `LongWritable`
  - ...
  - Platzhalter: `NullWritable`



- **Serialisierung:** Schreibt alle zur Rekonstruktion des Objekts in den Datenstrom out

```
public void write(DataOutput out)
```

- **Deserialisierung:** Rekonstruiert Zustand des Objekts aus Datenstrom in

```
public void readFields(DataInput in)
```

- **Vergleichs-Operator:** Vergleicht this mit x (siehe Java-Interface `Comparable`)

```
public int compareTo(WritableComparable x)
```

- **Hashing:** Ermittelt Hash-Wert über Daten

```
public int hashCode()
```



- Beispiel:

```
public class MyData implements WritableComparable {
    protected int node;
    protected long weight;

    public void write(DataOutput out)
        throws IOException {
        out.writeInt(node);
        out.writeLong(weight);
    }
    public void readFields(DataInput in)
        throws IOException {
        node = in.readInt();
        weight = in.readLong();
    }
    public int compareTo(MyData x) {
        return (weight < x.weight) ? -1 :
            ((weight == x.weight) ? 0 : 1);
    }
    [...]
}
```



- Standard-`hashCode()`-Implementierung garantiert **keine** gleichen Hash-Werte bei verschiedenen Objekten mit gleichem **Inhalt**
- Wird jedoch von `HashPartitioner` zum Partitionieren nach Schlüssel für die Reduce-Phase verwendet
- → Eigene Implementierung basierend auf Inhalt notwendig
- Beispiel (Fortsetzung):

```
[...]
public boolean equals(Object x) {
    if (! (o instanceof MyData)) return false;
    MyData z = (MyData)x;
    return (z.node == node) && (z.weight == weight);
}

public int hashCode() {
    return (node * 7) + (int)(weight * 13);
}
}
```



- Einlesen der Daten über `InputFormat`
- Ausgabe über `OutputFormat`
- Hadoop enthält bereits Klassen für verschiedene Ein-/Ausgabeformate:
  - `TextInputFormat`: Einlesen aus Textdateien
  - `SequenceFileInputFormat`: Hadoop-internes Binärformat
  - ...`OutputFormat` entsprechend
- Für Übungsaufgabe vorgegeben: Lesen und schreiben von Binärdaten mit konstanter Satzlänge
  - `mw.cliquefind.io.RecordInputFormat`
  - `mw.cliquefind.io.RecordOutputFormat`
- `InputFormat` benötigt je abgeleiteten Typ eigene Spezialisierung, da beim Einlesen neue Instanzen erzeugt werden (via Reflection)



## Hadoop-Aufträge

- Klasse `org.apache.hadoop.mapreduce.Job`
- Speichert Informationen zum Ablauf eines Jobs
  - Zur Ausführung benötigte Klassen (Mapper, Reducer...)
  - Ein- und Ausgabedateien
  - Jobspezifische Konfiguration
  - Ausführungszustand
- Änderbare Einstellungen:
  - Job-Bezeichnung

```
void setJobName(String name)
```
  - .jar-Datei mit benötigten Klassen

```
void setJarByClass(Class cls)
```



## Hadoop-Aufträge

- Änderbare Einstellungen (Fortsetzung):
  - Klasse zur Verarbeitung des Eingabeformats

```
void setInputFormatClass(Class cls)
```
  - Klasse zum Schreiben der Ausgabedaten

```
void setOutputFormatClass(Class cls)
```
  - Mapper-Klasse und deren Key/Value-Ausgabeformate

```
void setMapperClass(Class cls)
void setMapOutputKeyClass(Class cls)
void setMapOutputValueClass(Class cls)
```
  - Reducer-Klasse und deren Key/Value-Ausgabeformate

```
void setReducerClass(Class cls)
void setOutputKeyClass(Class cls)
void setOutputValueClass(Class cls)
```



## Hadoop-Aufträge

- Beispiel:

```
class MyJob extends Job {
    [...]
    public MyJob(Configuration cfg, String name) {
        super(cfg, name);

        setJarByClass(getClass());

        setInputFormatClass(EdgeInputFormat.class);
        setOutputFormatClass(RecordOutputFormat.class);

        setMapperClass(Map.class);
        setMapOutputKeyClass(IntWritable.class);
        setMapOutputValueClass(LongWritable.class);

        setReducerClass(Reduce.class);
        setOutputKeyClass(NullWritable.class);
        setOutputValueClass(IntWritable.class);
    }
}
```



## Hadoop-Aufträge

- Beispiel (Fortsetzung):

```
// class MyJob extends Job...
public static class Map
    extends Mapper<NullWritable, Edge,
        IntWritable, LongWritable> {

    @Override
    public void map(NullWritable k, Edge v, Context ctx) {
        [...]
    }
}

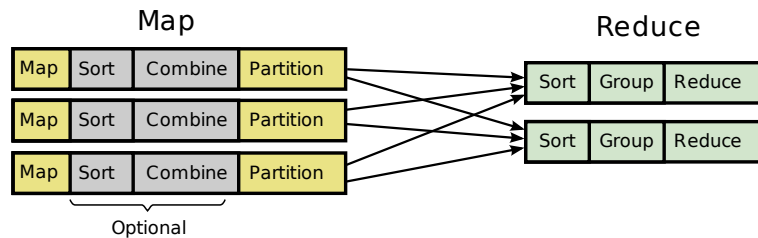
public static class Reduce
    extends Reducer<IntWritable, LongWritable,
        NullWritable, IntWritable> {

    @Override
    public void reduce(IntWritable k,
        Iterable<LongWritable> v, Context ctx) {
        [...]
    }
}
}
```



## Sortierung, Gruppierung und Partitionierung

- **Sortierung:** Reihenfolge der Schlüssel/Wert-Paare
- **Gruppierung:** Schlüssel, die beim Reduce zusammengefasst werden
- **Partitionierung:** Zuordnung der Schlüssel zu Reduce-Instanzen mittels Hash-Funktion
- Implementierung in Hadoop:



## Hadoop-Aufträge

- Festlegen von Combiner, Sorting, Grouping und Partitioner
- Beispiel:

```
// Partitioner
setPartitionerClass(Partition.class);

// Grouping
setGroupingComparatorClass(Grouping.class);

// Sorting
setSortComparatorClass(Sorting.class);

// Combiner
setCombinerClass(Combine.class);
```



## Weitere Job-Einstellungen

- Konfigurationseinstellungen für Job abfragen/ändern

```
Configuration getConfiguration()
```

- Manipulation von Zählern:

```
Counters getCounters()
```

- Festlegen der Ein- und Ausgabedateien für Job:

```
static FileInputFormat.setInputPaths(Job job, Path path);
```

```
static FileOutputFormat.setOutputPath(Job job, Path path);
```

- Erfolgt indirekt über statische Methoden der verwendeten Klasse zur Formatierung der Ein- bzw. Ausgabe!



## Job-Ausführung

- Starten des Jobs (asynchron):

```
void submit()
```

- Nach Start können Job-Parameter nicht mehr verändert werden!

- Statusabfrage:

```
boolean isComplete()
```

```
boolean isSuccessful()
```

- Warten auf Ende des Jobs:

```
boolean waitForCompletion(boolean verbose)
```



- Java-Klasse `org.apache.hadoop.util.Tool`
  - Interface mit Einstiegspunkt für eigene Hadoop-Anwendungen  
`int run(String[] args)`
- Java-Klasse `org.apache.hadoop.util.ToolRunner`
  - Initialisierung des Frameworks
  - Verarbeitung der Kommandozeile
  - Starten des angegebenen Tools  
`static int run(Configuration cfg, Tool t, String[] args)`



- Beispiel:

```
public class MyApp extends Configured implements Tool {
    public int run(String[] args) throws Exception {
        System.out.println("Hello " + args[0] + "!");
        System.out.println(getConf().get("mycfg.setting"));
        return 0;
    }

    public static void main(String[] args) throws Exception {
        int res = ToolRunner.run(new Configuration(),
            new MyApp(), args);

        System.exit(res);
    }
}
```

- Aufruf:

```
$ hadoop jar myapp.jar -D mycfg.setting=hi World
Hello World!
hi
```



## JAR-Dateien erstellen

- Hadoop-Programme müssen als `.jar`-Dateien vorliegen
- Aufruf:  
`$ hadoop jar myprogram.jar <parameter>`
- `.jar`-Dateien werden im ZIP-Format gespeichert und enthalten
  - Java-Klassendateien (`.class`)
  - Meta-Informationen (`META-INF/MANIFEST.MF`)
- Manifest-Datei ermöglicht
  - Definieren von Abhängigkeiten und Classpath
  - Versionierung
  - Festlegen der zu verwendenden `main()`-Methode



## JAR-Dateien erstellen

- Beispiel für Manifest:

```
Manifest-Version: 1.0
Main-Class: mw.MyApp
Class-Path: auxlib.jar
```

- Direktes starten der `.jar`-Datei (Main-Class muss definiert sein):

```
$ java -jar myapp.jar
```

- Erstellen eines JARs auf der Kommandozeile (siehe `man jar`):

```
$ jar cfe myapp.jar mw.MyApp mw/
```



## JAR-Dateien mit Ant erstellen

- ant ist ein Programm zum automatischen Bauen von Programmen (vgl. make)
- Zu erstellenden Objekte mittels XML-Datei (build.xml) definiert
- Enthält Modul zum bauen von .jar-Dateien:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<project default="makejar" name="jar example">
  <target name="makejar">
    <jar destfile="myapp.jar">
      <manifest>
        <attribute name="Main-Class" value="mw.MyApp"/>
      </manifest>
      <fileset dir="bin/">
        <include name="mw/**"/>
      </fileset>
    </jar>
  </target>
</project>
```

- Erzeugen der .jar-Datei durch Aufruf von ant



## Ausführung von MapReduce-Jobs

- Hadoop unterstützt zwei verschiedene Ausführungsmodi
  - Lokal
  - Verteilt
- Standardmäßig lokale, sofortige Ausführung
- Verteilte Ausführung erfordert
  - Dienste für Job-Verteilung und Ausführung
  - Hadoop Filesystem (HDFS)
  - Konfiguration (/etc/hadoop/conf)



## Hadoop Dienste

- **Jobtracker**
  - Verwaltet und verteilt MapReduce-Jobs
  - Nur eine zentrale Instanz
- **Tasktracker**
  - Zuständig für die Ausführung von Jobtracker zugewiesener Jobs
  - Läuft auf jedem Knoten, der Jobs bearbeiten soll
- **Namenode**
  - Verwaltet Dateien und deren Speicherorte im verteilten Dateisystem HDFS
  - Eine zentrale, primäre Instanz
  - Sekundärer Namenode ermöglicht schnellere Wiederherstellung
- **Datanode**
  - Zuständig für die Speicherung von Datenblöcken des HDFS
  - Läuft auf jedem Knoten, der Speicherplatz zur Verfügung stellen soll



## Hadoop Dienste

- Kommunikation der Dienste untereinander erfolgt per HTTP
- Web-Server liefert HTML-Seiten zur Statusabfrage
  - Status Jobtracker:  
`http://hostname:50030/`
  - Status Namenode/HDFS:  
`http://hostname:50070/`
- Zugriff kann derzeit nicht beschränkt werden
- Betrieb daher **nur** in privatem Netz oder hinter entsprechender Firewall



## Konfiguration

### ■ Setzen von Konfigurationsparametern

- Auf der Kommandozeile:

```
$ hadoop <command> -D dfs.data.dir=/mnt/hadoop
```

- XML-Dateien:

```
<configuration>
  <property>
    <name>dfs.data.dir</name>
    <value>/mnt/hadoop</value>
  </property>
</configuration>
```

### ■ Verfügbare Konfigurationsdateien

- core-site.xml: Generelle Einstellungen
- hdfs-site.xml: HDFS-Spezifische Einstellungen
- mapred-site.xml: MapReduce Einstellungen



## Konfiguration

### ■ Typische Konfiguration:

- **Ein** Knoten für Jobtracker und Namenode
- Restliche Knoten: Gleichzeitig Tasktracker und Datanode
- Erlaubt Nutzung lokaler Datenspeicherung

### ■ Namenode (core-site.xml)

```
<name>fs.default.name</name> <value>hdfs://131.188.42.111</value>
```

### ■ Jobtracker (mapred-site.xml)

```
<name>mapreduce.jobtracker.address</name> <value>131.188.42.111</value>
```

### ■ Liste von Tasktracker/Datanode-Adressen in conf/slaves (kein XML!)

```
131.188.42.112
131.188.42.113
[...]
```



## MapReduce-Konfiguration (mapred-site.xml)

- mapred.tasktracker.map.tasks.maximum,  
mapred.tasktracker.reduce.tasks.maximum:

Maximale Anzahl parallel ablaufender Map/Reduce-Tasks **je Knoten**

- mapred.map.tasks, mapred.reduce.tasks:

**Hinweis** an Partitionierer über die gewünschte Zahl von Teilen für Mapper/Reducer

- mapred.min.split.size, mapred.max.split.size:

Grenzen für Partitionierer bezüglich Größe der pro Mapper/Reducer verarbeiteten Teile



## Konfiguration aus API-Sicht

- Java-API: org.apache.hadoop.conf.Configuration

- Einstellungen können zur Laufzeit abgefragt und verändert werden:

```
public void changeBlocksize(Configuration mycfg) {
    long sz = mycfg.getLong("mapred.min.split.size");
    mycfg.setLong("mapred.min.split.size", sz * 10);
}
```

- Beliebige eigene Definitionen möglich:

```
Configuration mycfg = new Configuration(getConf());
int ni = mycfg.getInt("mytool.num_iterations", 100);
```

```
$ hadoop jar mytool.jar -D mytool.num_iterations=500
```



- Hadoop abstrahiert über verschiedene „Dateisysteme“
- URI-Schema zur Unterscheidung
- Unterstützt werden unter anderem:
  - Lokales Dateisystem (`file://...`)
  - HDFS (`hdfs://...`)
  - Amazon S3 / Walrus (`s3://...`, `s3n://...`)
  - HTTP (`http://...`)
- Zugriff über einheitliche Java-API
- Ein- und Ausgaben von MapReduce-Jobs können beliebige Dateisysteme direkt verwenden



- Repräsentation von Pfaden mittels `Path`
- Operationen auf Objekte im Dateisystem mittels `FileSystem`
- Komplexere Operationen über statische Methoden in `FileUtil`
- Beispiel: Löschen einer Datei

```
public void delete(Configuration cfg, String name) {
    try {
        Path p = new Path(name);
        FileSystem fs = p.getFileSystem(cfg);

        fs.delete(p, true); //recursive delete

    } catch (Exception e) {
        System.err.println("Delete failed for " + name);
    }
}
```



## Dateisystemzugriff mit FS Shell

- Hadoop bringt Werkzeug zum Zugriff auf Dateisysteme mit
- Aufruf mit:

```
$ hadoop fs <command> ...
```
- Mögliche Unterbefehle:
  - `-ls <path>`: Auflisten von Dateien
  - `-cp <src> <dst>`: Kopieren von Dateien
  - `-getmerge <src> <dest>`: Zusammenfügen und ins lokale Dateisystem kopieren
  - `-cat <src> <...>`: Zusammenfügen und auf Standardausgabe ausgeben
  - `-rmr <path>`: Rekursives löschen
- Siehe **Hadoop FS Shell Guide**



## Visualisierung der Graphen

- Zur Visualisierung ist das Program `Cytoscape` im CIP installiert
- Vorgegebenes Start-Skript lädt Daten mittels bereitgestelltem Import-Plugin
- Lediglich Kanten-Dateien unterstützt (Binär, ID-Paare verbundener Knoten)
- Beispiel:

```
$ cd /proj/i4mw/pub/aufgabe4/tools
$ ./visualize.sh ~/output.bin
```





## Start der verteilten Hadoop-Instanzen

- Gestartete Hadoop-Dienste sind öffentlich erreichbar
  - Einschränkung der Zugriffe notwendig
  - Integrierte Rechteverwaltung unsicher
  - Bietet keine echte Authentifizierung
- Eucalyptus-Abbild und Skripte zum Starten der Dienste vorgegeben
  - Konfigurationsdateien werden automatisch verteilt
  - Beschränkt Zugriffe auf Rechner, welcher Hadoop-Cluster gestartet hat
- Unterschiedliche SSH-Schlüssel trotz gemeinsamen Abbilds
  - Hinterlegen des öffentlichen Schlüssels in Eucalyptus  
→ `euca-add-keypair`
  - Privater Schlüssel im Konfigurationsverzeichnis für Skript



## SSH-Schlüssel einrichten

- Umgebungsvariablen aus `eucarc` einbinden

```
$ source ~/.euca/eucarc
```
- SSH-Keypair erzeugen und speichern (**einmalig**)

```
$ touch hadoop.sshkey
$ chmod 600 hadoop.sshkey
$ euca-add-keypair hadoop | tee -a hadoop.sshkey
KEYPAIR hadoop  xx:xx:xx:xx:xx:xx:xx:xx:xx:xx:xx:xx
-----BEGIN RSA PRIVATE KEY-----
[...]
-----END RSA PRIVATE KEY-----
```

  - Privater SSH-Schlüssel in Datei `hadoop.sshkey`
  - Öffentlicher Schlüssel in Eucalyptus als `hadoop` hinterlegt
- Übergabe an VM bei Instanziierung mittels `-k`

```
$ euca-run-instances -k hadoop emi-42424242
```



## Verwendung der verteilten Hadoop-Instanzen

- Beispielkonfiguration kopieren und anpassen

```
$ cp -a /proj/i4mw/pub/aufgabe4/tools/sample-config my-cfg
$ cp hadoop.sshkey my-cfg/ssh-private-key #Private Key
$ vi my-cfg/core-site.xml #Eigene Anpassungen
```
- Konfiguration hochladen und Starten mittels Skript

```
$ /proj/i4mw/pub/aufgabe4/tools/start-hadoop.sh my-cfg \
131.188.42.1 131.188.42.2 [...]
```
- Kopieren notwendiger `.jar`- und `Datendateien` in VM, z.B.:

```
$ scp -i hadoop.sshkey myapp.jar root@131.188.42.1:
```
- Einloggen und Job starten

```
$ ssh -i hadoop.sshkey root@131.188.42.1
$ hadoop jar myapp.jar [...]
```



## Literatur

- Apache Hadoop Dokumentation  
<http://hadoop.apache.org/common/docs/r0.20.2/index.html>
- Apache Hadoop API Javadoc  
<http://hadoop.apache.org/common/docs/r0.20.2/api/index.html>

