Überblick

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

Aufgabe 4
- Hadoop-Instanzen in der Cloud
- Visualisierung

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`)

- Objekte zur Bearbeitung durch MapReduce müssen irgendwie (zwischen-)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
  - **vergleichbar** sind
- Hadoop liefert Implementierung für elementare Datentypen mit:
  - `int` → `IntWritable`
  - `long` → `LongWritable`
  - ...
  - Platzhalter: `NullWritable`

Schnittstelle `WritableComparable`

- **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()
```

Schnittstelle `WritableComparable`

- 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);
  }
  [...]
```

Schnittstelle `WritableComparable`

- Standard-`hashCode()`-Implementierung garantiert **keine** gleichen Hash-Werte bei verschiedenen Objekten mit gleichem Inhalt
- Wird jedoch von `HashPartitionier` 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);
  }
}
```

Ein-/Ausgabe

- 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);
  }
```

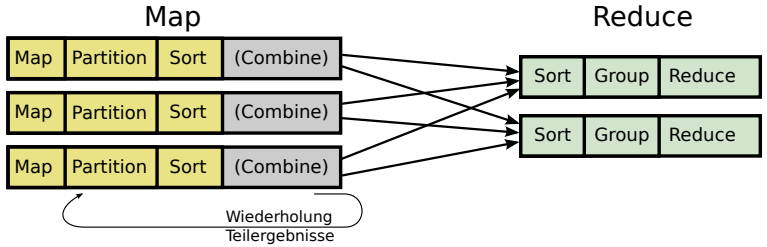
Hadoop-Aufträge

- 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:

```
// Partitoner
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)
```

Hadoop-Tools

- 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)
```

Hadoop-Tools

- 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 (Endung `.class`)
  - Meta-Informationen (Datei `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 erstellende 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
```

Dateisystem-Abstraktion

- Hadoop abstrahiert über verschiendene „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

Dateisystem API (`org.apache.hadoop.fs`)

- 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

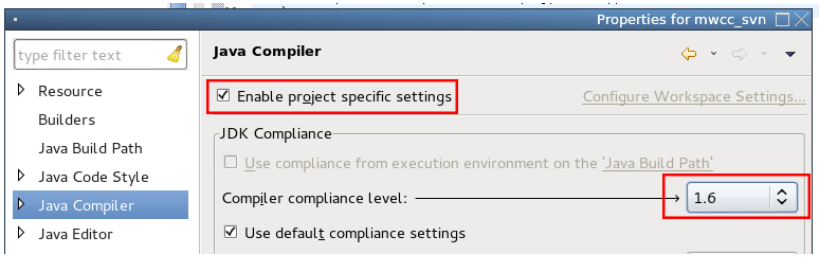
- Hadoop bringt Werkzeug zum Zugriff auf Dateisysteme mit
- Aufruf mit:

```
$ 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**

Laufzeitumgebung

- Hadoop unterstützt derzeit nur Java 1.6
  - Kompatibilität in Eclipse einstellen:



  - Kommandozeilenparameter für `javac`:

```
$ javac -target 1.6 mw/*.java
```

  - Eintrag in ant-Datei:

```
<target name="compile">
  <javac target="1.6" srcdir="src/" destdir="bin/" />
</target>
```

Start der verteilten Hadoop-Instanzen

- Gestartete Hadoop-Dienste sind öffentlich erreichbar
  - Einschränkung der Zugriffe notwendig
  - Integrierte Rechteverwaltung unsicher
- Eucalyptus-Abbild und Skripte zum Starten der Dienste vorgegeben
  - Konfigurationsdateien werden automatisch verteilt
  - Beschränkt Zugriff auf IP-Adresse von der Hadoop-Cluster konfiguriert wurde
- 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-Schlüsselpaar in Eucalyptus erzeugen **(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 Parameter `-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
$ nano my-cfg/mapred-site.xml             #Eigene Anpassungen
```

- Konfiguration hochladen und Starten von Hadoop in VMs

```
$ /proj/i4mw/pub/aufgabe4/tools/start-hadoop.sh my-cfg \
      131.188.42.1 131.188.42.2 [...]
```

- Kopieren notwendiger `.jar`- und Datendateien

```
$ scp -i hadoop.sshkey myapp.jar root@131.188.42.1:
```

- Einloggen und Job starten

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

Screen Terminal-Multiplexer `screen(1)`

- Programm zum Verwalten mehrerer virtueller Terminals
- Erlaubt beliebiges Trennen und Fortsetzen von Sitzungen
- Wichtige Tastaturbefehle:

`Ctrl+a c`	Erstelle neues Fenster und wechsle zu diesem
`Ctrl+a Ctrl+a`	Springe zum letzten aktiven Fenster
`Ctrl+a <num>`	Springe zu Fenster <*num*>
`Ctrl+a k`	Schließe aktuelles Fenster
`Ctrl+a \`	Schließe alle Fenster und beende Screen-Instanz

- Screen-Sitzung trennen und im aktuellen Terminal fortsetzen:

```
$ screen -dr
```

Visualisierung der Graphen

- Zur Visualisierung ist das Program **Cytoscape** im CIP installiert
- Vorgegebenes Start-Skript lädt Daten mittels Import-Plugin
- Ledglich Kanten-Dateien unterstützt
  - Binärdaten wie im Eingabeformat
  - Paarweise Integer-IDs befreundeteter Knoten
  - Keine Verarbeitung von anderen Zwischenformaten
- Übersetzt IDs in lesbare Namen
- Beispiel:

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

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`