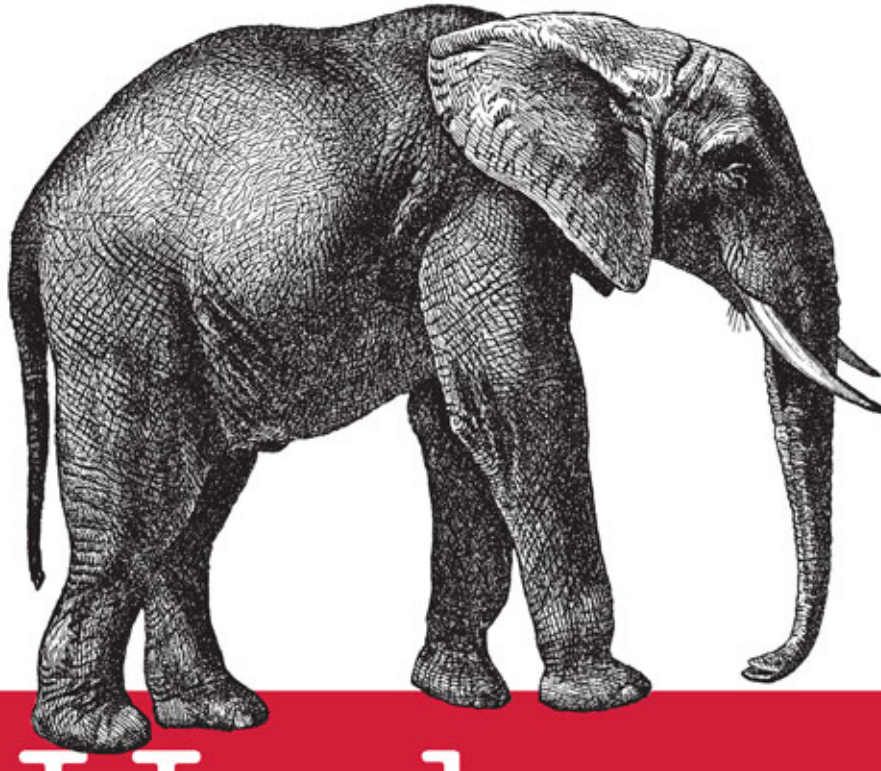
O'REILLY®



Hadoop

Kompletny przewodnik

ANALIZA I PRZECHOWYWANIE DANYCH

Helion

Tom White

Tytuł oryginału: Hadoop: The Definitive Guide, Fourth Edition

Tłumaczenie: Tomasz Walczak

ISBN: 978-83-283-1457-3

Wydawnictwo HELION
ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE
tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63
e-mail: *helion@helion.pl*
WWW: *http://helion.pl* (księgarnia internetowa, katalog książek)

Pliki z przykładami omawianymi w książce można znaleźć pod adresem:
ftp://ftp.helion.pl/przyklady/hadoop.zip

Drogi Czytelniku!
Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres
http://helion.pl/user/opinie/hadoop
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

Spis treści

ROZDZIAŁ 6.

Budowanie aplikacji w modelu MapReduce

W rozdziale 2. znajduje się wprowadzenie do modelu MapReduce. W tym rozdziale zapoznasz się z praktycznymi aspektami budowania w Hadoopie aplikacji w modelu MapReduce.

Pisanie programu w modelu MapReduce odbywa się zgodnie z określonym wzorcem. Najpierw należy przygotować funkcje mapującą i redukującą (najlepiej z testami jednostkowymi sprawdzającymi, czy funkcje działają zgodnie z oczekiwaniami). Następnie trzeba dodać program sterujący, który uruchamia zadanie. Ten program można wywołać w środowisku IDE dla małego podzbioru danych, aby ustalić, czy działa poprawnie. Jeśli wystąpią problemy, należy wykorzystać debuger ze środowiska IDE do wykrycia ich źródła. Na podstawie uzyskanych informacji można rozwinąć testy jednostkowe z uwzględnieniem danej sytuacji i usprawnić mapper lub reduktor, by zapewnić poprawną obsługę używanych danych wejściowych.

Jeżeli program działa prawidłowo dla małego zbioru danych, jest gotowy do uruchomienia w klastrze. Wykonanie programu dla pełnego zbioru danych prawdopodobnie pozwoli odkryć inne problemy. Można je rozwiązać w opisany wcześniej sposób, rozbudowując testy i modyfikując mapper lub reduktor pod kątem obsługi nowych przypadków. Debugowanie błędnych programów w klastrze jest trudne, dlatego dalej opisanych jest kilka popularnych technik, które to ułatwiają.

Gdy program już działa, możesz go dopracować. Najpierw wykonaj standardowe testy związane z przyspieszaniem pracy programów w modelu MapReduce, a następnie przeprowadź profilowanie zadania. Profilowanie programów rozproszonych to skomplikowane zadanie, jednak Hadoop udostępnia mechanizmy ułatwiające ten proces.

Przed rozpoczęciem pisania programu w modelu MapReduce należy zainstalować i skonfigurować środowisko programowania. W tym celu musisz zrozumieć, jak Hadoop przetwarza konfigurację.

API do obsługi konfiguracji

Komponenty w Hadoopie są konfigurowane za pomocą dostępnego w tej platformie specjalnego interfejsu API. Obiekt klasy `Configuration` (z pakietu `org.apache.hadoop.conf`) reprezentuje kolekcję *właściwości* konfiguracyjnych i ich wartości. Każda właściwość ma nazwę (typu `String`), a jako wartości używane są różne typy, w tym typy proste Javy (na przykład `boolean`, `int`, `long` i `float`), typy `String`, `Class` i `java.io.File` oraz kolekcje wartości typu `String`.

Obiekt typu `Configuration` wczytuje właściwości z *zasobów* — plików XML o prostej strukturze definiujących pary nazwa-wartość (zobacz listing 6.1).

Listing 6.1. Prosty plik konfiguracyjny configuration-1.xml

```
<?xml version="1.0"?>
<configuration>
  <property>
    <name>color</name>
    <value>yellow</value>
    <description>Color</description>
  </property>

  <property>
    <name>size</name>
    <value>10</value>
    <description>Size</description>
  </property>

  <property>
    <name>weight</name>
    <value>heavy</value>
    <final>true</final>
    <description>Weight</description>
  </property>

  <property>
    <name>size-weight</name>
    <value>${size},${weight}</value>
    <description>Size and weight</description>
  </property>
</configuration>
```

Jeśli dane obiektu typu `Configuration` znajdują się w pliku *configuration-1.xml*, dostęp do właściwości można uzyskać za pomocą następującego kodu:

```
Configuration conf = new Configuration();
conf.addResource("configuration-1.xml");
assertThat(conf.get("color"), is("yellow"));
assertThat(conf.getInt("size", 0), is(10));
assertThat(conf.get("breadth", "wide"), is("wide"));
```

Warto zwrócić uwagę na kilka kwestii. W pokazanym pliku XML nie są przechowywane informacje o typie. Właściwości można interpretować jako wartość danego typu w momencie ich wczytywania. Ponadto metody `get()` umożliwiają określenie wartości domyślnej, używanej, jeśli dana właściwość nie jest zdefiniowana w pliku XML (tak jest z właściwością `breadth` w przykładzie).

Łączenie zasobów

Sytuacja staje się ciekawa, gdy do definiowania obiektu typu `Configuration` używany jest więcej niż jeden zasób. To podejście jest stosowane w Hadoopie do wyodrębniania właściwości domyślnych systemu (zdefiniowanych wewnętrznie w pliku *core-default.xml*) od właściwości specyficznych dla danej jednostki (zdefiniowanych w pliku *core-site.xml*). W pliku z listingu 6.2 zdefiniowane są właściwości `size` i `weight`.

Listing 6.2. Drugi plik konfiguracyjny — configuration-2.xml

```
<?xml version="1.0"?>
<configuration>
  <property>
    <name>size</name>
    <value>12</value>
  </property>

  <property>
    <name>weight</name>
    <value>light</value>
  </property>
</configuration>
```

Zasoby są dodawane do obiektu typu `Configuration` po kolei:

```
Configuration conf = new Configuration();
conf.addResource("configuration-1.xml");
conf.addResource("configuration-2.xml");
```

Właściwości zdefiniowane w później dodawanych zasobach zastępują wcześniejsze definicje. Dlatego właściwość `size` ostatecznie przyjmuje wartość z drugiego pliku konfiguracyjnego, *configuration-2.xml*.

```
assertThat(conf.getInt("size", 0), is(12));
```

Jednak właściwości oznaczonych jako `final` nie można zastępować w dalszych definicjach. Właściwość `weight` w pierwszym pliku konfiguracyjnym ma modyfikator `final`, dlatego próba zastąpienia jej wartości w drugim pliku kończy się niepowodzeniem (zachowana zostaje wartość z pierwszego pliku).

```
assertThat(conf.get("weight"), is("heavy"));
```

Próba przesłonięcia właściwości z modyfikatorem `final` zwykle oznacza błąd konfiguracji. Skutkuje to zarejestrowaniem komunikatu ostrzegawczego, co ułatwia późniejszą diagnozę. Administratorzy oznaczają modyfikatorem `final` właściwości w lokalnych plikach demonów, gdy nie chcą, aby użytkownicy zmieniali te właściwości w plikach po stronie klienta lub za pomocą parametrów przekazywanych do zadania.

Podstawianie wartości zmiennych

Właściwości konfiguracyjne można definiować za pomocą innych właściwości i właściwości systemowych. Na przykład właściwość `size-weight` z pierwszego pliku konfiguracyjnego jest zdefiniowana jako `${size},${weight}`. Za te zmienne podstawiane są wartości znalezione w konfiguracji.

```
assertThat(conf.get("size-weight"), is("12,heavy"));
```

Właściwości systemowe są traktowane priorytetowo względem właściwości zdefiniowanych w plikach zasobów.

```
System.setProperty("size", "14");
assertThat(conf.get("size-weight"), is("14,heavy"));
```

Ten mechanizm jest przydatny do zastępowania właściwości w wierszu poleceń za pomocą argumentów maszyny JVM `-D`*`właściwość=wartość`*.

Zauważ, że choć właściwości konfiguracyjne można definiować w kategoriach właściwości systemowych, to jeśli właściwości systemowe nie zostaną zredefiniowane we właściwościach konfiguracyjnych, *nie* będą dostępne za pomocą interfejsu API do obsługi konfiguracji. Dlatego:

```
System.setProperty("length", "2");
assertThat(conf.get("length"), is((String) null));
```

Przygotowywanie środowiska programowania

Pierwszy krok polega na utworzeniu projektu. Pozwoli to budować programy w modelu MapReduce i uruchamiać je w trybie lokalnym (niezależnym) z poziomu wiersza poleceń lub środowiska IDE. Plik POM (ang. *Project Object Model*) Mavena z listingu 6.3 pokazuje zależności potrzebne do budowania i testowania programów w modelu MapReduce.

Listing 6.3. Plik POM Mavena potrzebny do budowania i testowania aplikacji w modelu MapReduce

```
<project>
  <modelVersion>4.0.0</modelVersion>
  <groupId>com.hadoopbook</groupId>
  <artifactId>hadoop-book-mr-dev</artifactId>
  <version>4.0</version>
  <properties>
    <project.build.sourceEncoding>UTF-8</project.build.sourceEncoding>
    <hadoop.version>2.5.1</hadoop.version>
  </properties>
  <dependencies>
    <!-- Element głównego klienta Hadoopa -->
    <dependency>
      <groupId>org.apache.hadoop</groupId>
      <artifactId>hadoop-client</artifactId>
      <version>${hadoop.version}</version>
    </dependency>
    <!-- Elementy testów jednostkowych -->
    <dependency>
      <groupId>junit</groupId>
      <artifactId>junit</artifactId>
      <version>4.11</version>
      <scope>test</scope>
    </dependency>
    <dependency>
      <groupId>org.apache.mrunit</groupId>
      <artifactId>mrunit</artifactId>
      <version>1.1.0</version>
      <classifier>hadoop2</classifier>
      <scope>test</scope>
    </dependency>
    <!-- Element testowy Hadoopa do uruchamiania miniklastrów -->
    <dependency>
      <groupId>org.apache.hadoop</groupId>
      <artifactId>hadoop-minicluster</artifactId>
      <version>${hadoop.version}</version>
    <scope>test</scope>
  </dependency>
  </dependencies>
  <build>
    <finalName>hadoop-examples</finalName>
    <plugins>
      <plugin>
        <groupId>org.apache.maven.plugins</groupId>
        <artifactId>maven-compiler-plugin</artifactId>
        <version>3.1</version>
        <configuration>
          <source>1.6</source>
          <target>1.6</target>
```

```
        </configuration>
      </plugin>
      <plugin>
        <groupId>org.apache.maven.plugins</groupId>
        <artifactId>maven-jar-plugin</artifactId>
        <version>2.5</version>
        <configuration>
          <outputDirectory>${basedir}</outputDirectory>
        </configuration>
      </plugin>
    </plugins>
  </build>
</project>
```

Interesującą częścią pliku POM jest sekcja z zależnościami (możesz też zastosować inne narzędzie do budowania, takie jak Gradle lub Ant z Ivy, o ile użyjesz zdefiniowanego tu zestawu zależności). Do budowania zadań w modelu MapReduce potrzebny jest tylko element `hadoop-client`, obejmujący wszystkie używane po stronie klienta klasy Hadoopa potrzebne do interakcji z systemem HDFS i modelem MapReduce. Do przeprowadzania testów jednostkowych używany jest tu `junit`, a do pisania testów dla modelu MapReduce — `mrunit`. Biblioteka `hadoop-minicluster` obsługuje miniklastry przydatne do testowania programów na klastrach Hadoopa działających w jednej maszynie JVM.

Wiele środowisk IDE potrafi bezpośrednio wczytywać pliki POM Mavena, dlatego wystarczy wskazać im katalog z plikiem *pom.xml*, po czym można przejść do pisania kodu. Możesz też wykorzystać Mavena do wygenerowania plików konfiguracyjnych dla środowiska IDE. Na przykład poniższy kod tworzy pliki konfiguracyjne dla środowiska Eclipse, co pozwala zaimportować projekt do tego narzędzia.

```
% mvn eclipse:eclipse -DdownloadSources=true -DdownloadJavadocs=true
```

Zarządzanie konfiguracją

W trakcie budowania aplikacji Hadoopa programista często przełącza aplikację między środowiskiem lokalnym a klastrem. Możliwe też, że pracuje z kilkoma klastrami lub używa lokalnego „pseudorozproszonego” klastra, w którym chce przeprowadzać testy (w takim klastrze wszystkie demony działają na jednej maszynie; ustawianie tego trybu opisano w dodatku A).

Jednym ze sposobów na uwzględnienie wszystkich tych sytuacji jest utworzenie plików konfiguracyjnych Hadoopa z ustawieniami połączeń dla każdego używanego klastra. Następnie w momencie uruchamiania aplikacji lub narzędzi Hadoopa należy wskazać potrzebny klaster. Zaleca się przechowywanie wspomnianych plików poza drzewem katalogów instalacji Hadoopa, ponieważ pozwala to na łatwe przełączanie się między wersjami Hadoopa bez powielania lub utraty ustawień.

Na potrzeby książki załóżmy, że istnieje katalog *conf* zawierający trzy pliki konfiguracyjne: *hadoop-local.xml*, *hadoop-localhost.xml* i *hadoop-cluster.xml* (są one dostępne w przykładowym kodzie dołączonym do książki). Zauważ, że w nazwach tych plików nie ma nic specjalnego. Te pliki to tylko wygodny sposób na połączenie wybranych ustawień konfiguracyjnych. Możesz porównać je z plikami z tabeli A.1 z dodatku A, w których umieszczane są analogiczne ustawienia konfiguracyjne po stronie serwera.

Plik *hadoop-local.xml* zawiera domyślną konfigurację Hadoopa dla domyślnego systemu plików i lokalnej (z maszyny JVM) platformy do uruchamiania zadań w modelu MapReduce.

```
<?xml version="1.0"?>
<configuration>

  <property>
    <name>fs.defaultFS</name>
    <value>file:///</value>
  </property>

  <property>
    <name>mapreduce.framework.name</name>
    <value>local</value>
  </property>

</configuration>
```

Ustawienia z pliku *hadoop-localhost.xml* określają węzeł nazw i menedżer zasobów systemu YARN działające w hoście lokalnym.

```
<?xml version="1.0"?>
<configuration>

  <property>
    <name>fs.defaultFS</name>
    <value>hdfs://localhost/</value>
  </property>

  <property>
    <name>mapreduce.framework.name</name>
    <value>yarn</value>
  </property>

  <property>
    <name>yarn.resourcemanager.address</name>
    <value>localhost:8032</value>
  </property>

</configuration>
```

Plik *hadoo-cluster.xml* zawiera szczegółowe informacje o adresach węzła nazw i menedżera zasobów systemu YARN z klastra. W praktyce ten plik jest nazywany na podstawie nazwy klastra, a nie, tak jak tutaj, „cluster”.

```
<?xml version="1.0"?>
<configuration>

  <property>
    <name>fs.defaultFS</name>
    <value>hdfs://namenode/</value>
  </property>

  <property>
    <name>mapreduce.framework.name</name>
    <value>yarn</value>
  </property>
  <property>
    <name>yarn.resourcemanager.address</name>
    <value>resourcemanager:8032</value>
  </property>

</configuration>
```

W razie potrzeby możesz dodać do tych plików inne właściwości konfiguracyjne.

Ustawianie tożsamości użytkownika

Tożsamość użytkownika używana w Hadoopie do zarządzania uprawnieniami w systemie HDFS jest ustalana za pomocą polecenia `whoami` wywoływanego w systemie klienta. Podobnie nazwy grup są określane na podstawie danych wyjściowych z instrukcji `groups`.

Jeśli jednak tożsamość użytkownika w Hadoopie jest różna od nazwy konta użytkownika na maszynie klienckiej, można bezpośrednio ustawić nazwę użytkownika w Hadoopie za pomocą zmiennej środowiskowej `HADOOP_USER_NAME`. Możesz też zmienić odwzorowania w grupach użytkowników za pomocą właściwości konfiguracyjnej `hadoop.user.group.static.mapping.overrides`. Na przykład wartość `dr.who=;preston=directors,inventors` oznacza, że użytkownik `dr.who` nie jest członkiem żadnej grupy, a użytkownik `preston` należy do grup `directors` i `inventors`.

Tożsamość użytkownika używaną przez interfejsy sieciowe Hadoopa można ustawić za pomocą właściwości `hadoop.http.staticuser.user`. Domyślnie używana jest tożsamość `dr.who`, która nie daje uprawnień administratora, dlatego pliki systemowe nie są dostępne z poziomu interfejsów sieciowych.

Zauważ, że domyślnie w tym modelu uwierzytelnianie nie jest stosowane. Z punktu „Inne usprawnienia w zabezpieczeniach” w rozdziale 10. dowiesz się, jak skonfigurować w Hadoopie uwierzytelnianie oparte na protokole Kerberos.

Przy tych ustawieniach łatwo można wskazać dowolną konfigurację za pomocą opcji `-conf` w wierszu poleceń. Na przykład poniższe polecenie wyświetla zawartość katalogu z serwera HDFS działającego w trybie pseudorozproszonym na hoście lokalnym.

```
% hadoop fs -conf conf/hadoop-localhost.xml -ls .
Found 2 items
drwxr-xr-x   - tom supergroup       0 2014-09-08 10:19 input
drwxr-xr-x   - tom supergroup       0 2014-09-08 10:19 output
```

Jeśli pominiesz opcję `-conf`, użyta zostanie konfiguracja Hadoopa z podkatalogu *etc/hadoop* z katalogu ze zmiennej `$HADOOP_HOME`. Jeżeli jednak ustawiona jest zmienna `HADOOP_CONF_DIR`, pliki konfiguracyjne Hadoopa są wczytywane z podanej w niej lokalizacji.

Oto inny sposób zarządzania ustawieniami konfiguracyjnymi — skopiuj katalog *etc/hadoop* z instalacji Hadoopa w inne miejsce, umieść tam pliki konfiguracyjne **-site.xml* (z odpowiednimi opcjami) i ustaw zmienną środowiskową `HADOOP_CONF_DIR` na tę nową lokalizację. Główna zaleta takiego podejścia polega na tym, że nie trzeba używać opcji `–conf` w każdej instrukcji. Ponadto można wprowadzić zmiany w plikach innych niż pliki XML z konfiguracją Hadoopa (na przykład w pliku *log4j.properties*), ponieważ katalog ze zmiennej `HADOOP_CONF_DIR` zawiera kopię wszystkich plików konfiguracyjnych (zobacz punkt „Konfiguracja Hadoopa” w rozdziale 10.).

Dostępne w Hadoopie narzędzia obsługują opcję `-conf`. Można też łatwo zapewnić jej obsługę we własnych programach (na przykład w programach uruchamiających zadania w modelu MapReduce). Umożliwia to interfejs `Tool`.

GenericOptionsParser, Tool i ToolRunner

Hadoop udostępnia kilka klas pomocniczych ułatwiających uruchamianie zadań z poziomu wiersza poleceń. `GenericOptionsParser` to klasa, która interpretuje standardowe opcje Hadoopa podawane w wierszu poleceń i ustawia je w obiekcie typu `Configuration`, tak by można je było potem w dowolny sposób zastosować. Programiści zwykle nie używają bezpośrednio klasy `GenericOptionsParser`, ponieważ wygodniej jest zaimplementować interfejs `Tool` i uruchamiać aplikację za pomocą klasy `ToolRunner`, która wewnętrznie korzysta z klasy `GenericOptionsParser`.

```
public interface Tool extends Configurable {
  int run(String [] args) throws Exception;
}
```

Listing 6.4 przedstawia bardzo prostą implementację interfejsu `Tool`, która wyświetla klucze i wartości wszystkich właściwości z obiektu typu `Configuration`.

Listing 6.4. Przykładowa implementacja interfejsu Tool wyświetlająca właściwości z obiektu typu Configuration

```
public class ConfigurationPrinter extends Configured implements Tool {

  static {
    Configuration.addDefaultResource("hdfs-default.xml");
    Configuration.addDefaultResource("hdfs-site.xml");
    Configuration.addDefaultResource("yarn-default.xml");
    Configuration.addDefaultResource("yarn-site.xml");
    Configuration.addDefaultResource("mapred-default.xml");
    Configuration.addDefaultResource("mapred-site.xml");
  }

  @Override
  public int run(String[] args) throws Exception {
    Configuration conf = getConf();
    for (Entry<String, String> entry: conf) {
      System.out.printf("%s=%s\n", entry.getKey(), entry.getValue());
    }
    return 0;
  }

  public static void main(String[] args) throws Exception {
    int exitCode = ToolRunner.run(new ConfigurationPrinter(), args);
    System.exit(exitCode);
  }
}
```

`ConfigurationPrinter` to klasa pochodna od `Configured` (która implementuje interfejs `Configurable`). Wszystkie implementacje interfejsu `Tool` muszą też implementować interfejs `Configurable`, ponieważ `Tool` to interfejs pochodny od `Configurable`. Utworzenie klasy pochodnej od `Configured` to często najłatwiejszy sposób na zrealizowanie tego wymogu. Metoda `run()` pobiera obiekt typu `Configuration` za pomocą metody `getConf()` z interfejsu `Configurable`, a następnie przechodzi po tym obiekcie i wyświetla każdą właściwość w standardowym wyjściu.

Statyczny blok gwarantuje, że oprócz podstawowych ustawień (znanych już obiektowi klasy `Configuration`) pobrane zostaną konfiguracje systemów HDFS i YARN oraz modelu MapReduce.

Metoda `main()` klasy `ConfigurationPrinter` nie wywołuje bezpośrednio własnej metody `run()`. Zamiast tego uruchamia statyczną metodę `run()` klasy `ToolRunner`, która przed wywołaniem tej metody tworzy obiekt typu `Configuration` na potrzeby interfejsu `Tool`. Klasa `ToolRunner` używa klasy

`GenericOptionsParser` do pobierania standardowych opcji z wiersza poleceń i ustawiania ich w obiekcie klasy `Configuration`. Efekt pobrania właściwości podanych w pliku *conf/hadoop-localhost.xml* można zobaczyć dzięki uruchomieniu poniższych instrukcji.

```
% mvn compile
% export HADOOP_CLASSPATH=target/classes/
% hadoop ConfigurationPrinter -conf conf/hadoop-localhost.xml \
  | grep yarn.resourcemanager.address=
yarn.resourcemanager.address=localhost:8032
```

Które właściwości programista może ustawić?

Klasa `ConfigurationPrinter` to przydatne narzędzie do wykrywania, która właściwość jest ustawiona w środowisku. Konfigurację działającego demona (na przykład węzła nazw) można zobaczyć na stronie */conf* serwera WWW. Numery portów znajdziesz w tabeli 10.6.

Aby zobaczyć domyślne ustawienia wszystkich publicznych właściwości Hadoopa, otwórz katalog *share/doc* w instalacji Hadoopa i poszukaj plików *core-default.xml*, *hdfs-default.xml*, *yarn-default.xml* i *mapred-default.xml*. Każda właściwość ma opis wyjaśniający, do czego służy i jakie wartości przyjmuje.

Dokumentację plików z ustawieniami domyślnymi znajdziesz w internecie na stronach podanych pod adresem *http://hadoop.apache.org/docs/current/* (poszukaj opcji *Configuration* w nawigacji). By uzyskać szczegółowe informacje o konkretnej wersji Hadoopa, zastąp słowo *current* w podanym adresie URL członem *r<wersja>*, na przykład *http://hadoop.apache.org/docs/r2.5.2/*.

Zauważ, że niektóre właściwości nie mają znaczenia, gdy są ustawione w konfiguracji klienta. Na przykład jeśli przy przesyłaniu zadania ustawisz właściwość `yarn.nodemanager.resource.memory-mb` w oczekiwaniu, że zmieni to ilość pamięci dostępnej menedżerom węzłów wykonujących zadanie, zawiedziesz się, ponieważ ta właściwość jest uwzględniana tylko wtedy, jeżeli ustawiono ją w pliku *yarn-site.xml* menedżera węzła. Zwykle można określić docelowy komponent właściwości na podstawie jej nazwy. Ponieważ nazwa `yarn.nodemanager.resource.memory-mb` rozpoczyna się od członu `yarn.nodemanager`, można się domyślić, że tę właściwość można ustawić tylko dla demona menedżera węzła. Jednak ta reguła nie zawsze się sprawdza, dlatego czasem będziesz musiał posłużyć się metodą prób i błędów lub nawet zajrzeć do kodu źródłowego.

Od wersji Hadoop 2 zmieniono nazwy właściwości konfiguracyjnych na bardziej jednolite. Na przykład właściwości systemu HDFS związane z węzłem nazw mają obecnie przedrostek `dfs.namenode`, dlatego dawna właściwość `dfs.name.dir` to teraz `dfs.namenode.name.dir`. Podobnie właściwości dotyczące modelu MapReduce otrzymały przedrostek `mapreduce` zamiast dawnego przedrostka `mapred`. Dlatego poprzednia nazwa `mapred.job.name` to obecnie `mapreduce.job.name`.

W tej książce używane są nowe nazwy właściwości, co pozwala uniknąć ostrzeżeń o stosowaniu przestarzałych nazw. Dawne nazwy właściwości są jednak wciąż dozwolone i często pojawiają się w starszej dokumentacji. Listę przestarzałych nazw właściwości i ich nowych odpowiedników znajdziesz w witrynie Hadoopa (*http://hadoop.apache.org/docs/current/hadoop-project-dist/hadoop-common/DeprecatedProperties.html*).

W tej książce opisano wiele spośród najważniejszych właściwości konfiguracyjnych Hadoopa.

Klasa `GenericOptionsParser` umożliwia też ustawianie pojedynczych właściwości. Oto przykład:

```
% hadoop ConfigurationPrinter -D color=yellow | grep color
color=yellow
```

Tu opcja `-D` jest używana do ustawienia właściwości konfiguracyjnej o kluczu `color` na wartość `yellow`. Ustawienia podane za pomocą opcji `-D` są traktowane priorytetowo względem właściwości z plików konfiguracyjnych. Jest to bardzo przydatne, ponieważ można zapisać w plikach konfiguracyjnych wartości domyślne, a następnie zastępować je za pomocą opcji `-D`. Przykładem jest ustawianie liczby reduktorów dla zadania w modelu MapReduce za pomocą opcji `-D mapreduce.job.`
`↪reduces=n`. Powoduje to zmianę liczby reduktorów ustawionej w klastrze lub w plikach konfiguracyjnych po stronie klienta.

Inne opcje obsługiwane przez klasy `GenericOptionsParser` i `ToolRunner` są wymienione w tabeli 6.1. Więcej informacji o konfiguracyjnym interfejsie API Hadoopa zawiera punkt „API do obsługi konfiguracji".

Tabela 6.1. Opcje dla klas GenericOptionsParser i ToolRunner

Opcja	Opis
`-D` *`właściwość=wartość`*	Ustawia właściwość konfiguracyjną Hadoopa na podaną wartość. Zastępuje konfiguracyjne właściwości domyślne i właściwości witryny, a także właściwości ustawione za pomocą opcji `-conf`.
`-conf` *`nazwa_pliku`* …	Dodaje wskazane pliki do listy zasobów konfiguracyjnych. Jest to wygodny sposób ustawiania właściwości na poziomie witryny lub jednoczesnego określania wielu właściwości.
`-fs` *`uri`*	Ustawia domyślny system plików na podany identyfikator URI. To skrótowy zapis instrukcji `-D fs.defaultFS=`*`uri`*.
`-jt` *`host:port`*	Ustawia menedżera zasobów systemu YARN na określone hosta i port. W Hadoopie 1 instrukcja ustawia adres jobtrackera, stąd jej nazwa. To skrótowy zapis polecenia `-D yarn.resourcemanager.address=`*`host:port`*.
`-files` *`plik1,plik2`*,…	Kopiuje wskazane pliki z lokalnego systemu plików (lub dowolnego systemu plików, jeśli określony jest schemat) do współużytkowanego systemu plików, z którego korzysta platforma MapReduce (zwykle jest to system HDFS). Te pliki są udostępniane programom w modelu MapReduce w katalogu roboczym zadania. Więcej o mechanizmie rozproszonej pamięci podręcznej w kontekście kopiowania plików do maszyn z klastra dowiesz się z punktu „Rozproszona pamięć podręczna" w rozdziale 9.
`-archives` *`archiwum1,archiwum2`*,…	Kopiuje wskazane archiwa z lokalnego systemu plików (lub dowolnego systemu plików, jeśli określony jest schemat) do współużytkowanego systemu plików, z którego korzysta platforma MapReduce (zwykle jest to system HDFS), wypakowuje je i udostępnia programom w modelu MapReduce w katalogu roboczym zadania.
`-libjars` *`jar1,jar2`*,…	Kopiuje wskazane pliki JAR z lokalnego systemu plików (lub dowolnego systemu plików, jeśli określony jest schemat) do współużytkowanego systemu plików, z którego korzysta platforma MapReduce (zwykle jest to system HDFS), i dodaje je do ścieżki do klas zadania w modelu MapReduce. Ta opcja to przydatny sposób przesyłania plików JAR potrzebnych zadaniu.

Nie pomyl ustawiania właściwości Hadoopa za pomocą opcji `–D` *`właściwość=wartość`* na potrzeby klas `GenericOptionsParser` i `ToolRunner` z ustawianiem właściwości systemowych maszyny JVM przy użyciu opcji `–D`*`właściwość=wartość`* w instrukcji `java`. Składnia właściwości systemowych maszyny JVM nie zezwala na używanie spacji między literą `D` a nazwą właściwości, natomiast przy podawaniu właściwości dla klasy `GenericOptionsParser` spacja jest dopuszczalna.

Właściwości systemowe maszyny JVM są pobierane z klasy `java.lang.System`, przy czym właściwości Hadoopa są dostępne tylko za pomocą obiektu typu `Configuration`. Dlatego choć właściwość systemowa `color` została ustawiona (za pomocą zmiennej

HADOOP_OPTS), poniższa instrukcja nic nie wyświetla, ponieważ klasa Configuration ↪Printer nie używa klasy System.

```
% HADOOP_OPTS='-Dcolor=yellow' \
  hadoop ConfigurationPrinter | grep color
```

Jeśli chcesz mieć możliwość ustawiania konfiguracji za pomocą właściwości systemowych, musisz umieścić potrzebne z nich w pliku konfiguracyjnym. Więcej dowiesz się z punktu „Podstawianie wartości zmiennych”.

Pisanie testów jednostkowych za pomocą biblioteki MRUnit

Funkcje mapująca i redukująca z modelu MapReduce są łatwe do testowania w izolacji. Wynika to z natury funkcji. MRUnit (*https://mrunit.apache.org/*) to biblioteka do obsługi testów, która ułatwia przekazywanie znanych danych wejściowych do mappera lub reduktora i sprawdzanie, czy dane wyjściowe są zgodne z oczekiwaniami. Biblioteka MRUnit jest używana razem ze standardowymi platformami testowymi (takimi jak JUnit), dlatego można przeprowadzać testy zadań w modelu MapReduce w środowisku programowania. Na przykład wszystkie testy opisane w tym miejscu można uruchomić w środowisku IDE na podstawie instrukcji z punktu „Przygotowywanie środowiska programowania”.

Mapper

Test mappera jest przedstawiony na listingu 6.5.

Listing 6.5. Test jednostkowy klasy MaxTemperatureMapper

```
import java.io.IOException;
import org.apache.hadoop.io.*;
import org.apache.hadoop.mrunit.mapreduce.MapDriver;
import org.junit.*;

public class MaxTemperatureMapperTest {

  @Test
  public void processesValidRecord() throws IOException, InterruptedException {
    Text value = new Text("0043011990999991950051518004+68750+023550FM-12+0382" +
                                                    // Rok ^^^^
        "99999V0203201N00261220001CN9999999N9-00111+99999999999");
                                                 // Temperatura ^^^^^
    new MapDriver<LongWritable, Text, Text, IntWritable>()
      .withMapper(new MaxTemperatureMapper())
      .withInput(new LongWritable(0), value)
      .withOutput(new Text("1950"), new IntWritable(-11))
      .runTest();
  }
}
```

Ten test jest oparty na bardzo prostym pomyśle — należy przekazać rekord z danymi o pogodzie jako dane wejściowe dla mappera i sprawdzić, czy dane wyjściowe to rok i temperatura.

Ponieważ testowany jest mapper, używana jest klasa MapDriver z biblioteki MRUnit. Do tej klasy trzeba przekazać testowany mapper (MaxTemperatureMapper), wejściowe klucz i wartość, a także oczekiwane wyjściowe klucz (obiekt typu Text reprezentujący rok 1950) i wartość (obiekt typu

`IntWritable` reprezentujący temperaturę –1,1°C). Na koniec można wywołać metodę `runTest()`, aby przeprowadzić test. Jeśli mapper nie zwraca oczekiwanych danych wyjściowych, biblioteka MRUnit zgłasza niepowodzenie testu. Zauważ, że klucz wejściowy można ustawić na dowolną wartość, ponieważ przedstawiony mapper go ignoruje.

W sposób typowy dla programowania sterowanego testami można następnie utworzyć wersję klasy `Mapper`, która przejdzie test (zobacz listing 6.6). Ponieważ pokazywane klasy są w tym rozdziale stopniowo modyfikowane, każda jest umieszczona w innym pakiecie określającym jej wersję, co ułatwia prezentację kodu. Na przykład `v1.MaxTemperatureMapper` to pierwsza wersja klasy `MaxTemperatureMapper`. Oczywiście w praktyce przy modyfikowaniu klas nie umieszcza się ich w odrębnych pakietach.

Listing 6.6. Pierwsza wersja mappera przechodząca test MaxTemperatureMapperTest

```
public class MaxTemperatureMapper
    extends Mapper<LongWritable, Text, Text, IntWritable> {

  @Override
  public void map(LongWritable key, Text value, Context context)
      throws IOException, InterruptedException {

    String line = value.toString();
    String year = line.substring(15, 19);
    int airTemperature = Integer.parseInt(line.substring(87, 92));
    context.write(new Text(year), new IntWritable(airTemperature));
  }
}
```

To bardzo prosta implementacja, która pobiera pola z rokiem i temperaturą z wiersza i zapisuje je w obiekcie typu `Context`. Dodajmy teraz wykrywanie brakujących wartości, które w surowych danych są reprezentowane jako temperatura `+9999`.

```
@Test
public void ignoresMissingTemperatureRecord() throws IOException,
    InterruptedException {
  Text value = new Text("0043011990999991950051518004+68750+023550FM-12+0382" +
                                // Rok ^^^^
      "99999V0203201N00261220001CN9999999N9+99991+99999999999");
                            // Temperatura ^^^^^
  new MapDriver<LongWritable, Text, Text, IntWritable>()
    .withMapper(new MaxTemperatureMapper())
    .withInput(new LongWritable(0), value)
    .runTest();
}
```

Klasę `MapDriver` można wykorzystać do wykrywania zera, jednego lub większej liczby rekordów wyjściowych — zgodnie z liczbą wywołań metody `withOutput()`. W tej aplikacji rekordy, w których brakuje temperatury, są pomijane, dlatego test sprawdza, czy dla konkretnej wartości wejściowej rzeczywiście nie są zwracane żadne dane wyjściowe.

Nowy test kończy się niepowodzeniem, ponieważ wartość `+9999` nie jest traktowana jak specjalny przypadek. Zamiast dodawać kolejne linie kodu do mappera, można utworzyć odrębną klasę parsera i umieścić w niej kod odpowiedzialny za parsowanie, co przedstawia listing 6.7.

Listing 6.7. Klasa do parsowania rekordów z danymi o pogodzie w formacie organizacji NCDC

```
public class NcdcRecordParser {

  private static final int MISSING_TEMPERATURE = 9999;

  private String year;
  private int airTemperature;
  private String quality;

  public void parse(String record) {
    year = record.substring(15, 19);
    String airTemperatureString;
    // Usuwanie początkowego znaku plus, ponieważ metoda parseInt źle sobie z nim radzi (w wersjach sprzed Javy 7)
    if (record.charAt(87) == '+') {
      airTemperatureString = record.substring(88, 92);
    } else {
      airTemperatureString = record.substring(87, 92);
    }
    airTemperature = Integer.parseInt(airTemperatureString);
    quality = record.substring(92, 93);
  }

  public void parse(Text record) {
    parse(record.toString());
  }

  public boolean isValidTemperature() {
    return airTemperature != MISSING_TEMPERATURE && quality.matches("[01459]");
  }

  public String getYear() {
    return year;
  }

  public int getAirTemperature() {
    return airTemperature;
  }
}
```

Wynikowy mapper (wersja 2.) jest znacznie prostszy (zobacz listing 6.8). Wywołuje jedynie metodę `parse()` parsera (która parsuje potrzebne pola z wiersza danych wejściowych), za pomocą metody `isValidTemperature()` sprawdza, czy znaleziono prawidłową temperaturę, i jeśli tak się stało, pobiera rok i temperaturę za pomocą getterów parsera. Zauważ, że za sprawdzanie wartości pola stanu i wykrywanie braku temperatury odpowiada metoda `isValidTemperature()`, pozwalająca odfiltrować nieprawidłowe odczyty temperatury.

Inną korzyścią wynikającą z utworzenia klasy parsera jest to, że pozwala ona na łatwe napisanie powiązanych mapperów dla podobnych zadań bez konieczności duplikowania kodu. Ponadto można pisać testy jednostkowe bezpośrednio dla parsera, dzięki czemu są one bardziej precyzyjne.

Listing 6.8. Mapper używający klasy narzędziowej do parsowania rekordów

```
public class MaxTemperatureMapper
    extends Mapper<LongWritable, Text, Text, IntWritable> {

  private NcdcRecordParser parser = new NcdcRecordParser();
```

```
  @Override
  public void map(LongWritable key, Text value, Context context)
      throws IOException, InterruptedException {

    parser.parse(value);
    if (parser.isValidTemperature()) {
      context.write(new Text(parser.getYear()),
          new IntWritable(parser.getAirTemperature()));
    }
  }
}
```

Testy mappera kończą się już powodzeniem, można więc przejść do pisania reduktora.

Reduktor

Reduktor ma znajdować maksymalną wartość dla danego klucza. Oto prosty test tego mechanizmu. Wykorzystano tu klasę `ReduceDriver`.

```
@Test
public void returnsMaximumIntegerInValues() throws IOException,
    InterruptedException {
  new ReduceDriver<Text, IntWritable, Text, IntWritable>()
    .withReducer(new MaxTemperatureReducer())
    .withInput(new Text("1950"),
        Arrays.asList(new IntWritable(10), new IntWritable(5)))
    .withOutput(new Text("1950"), new IntWritable(10))
    .runTest();
}
```

Kod tworzy listę wartości typu `IntWritable`, a następnie sprawdza, czy klasa `MaxTemperatureReducer` wybrała największą liczbę. Kod z listingu 6.9 to implementacja klasy `MaxTemperatureReducer` przechodzącej test.

Listing 6.9. Reduktor z przykładu dotyczącego wyszukiwania maksymalnej temperatury

```
public class MaxTemperatureReducer
    extends Reducer<Text, IntWritable, Text, IntWritable> {

  @Override
  public void reduce(Text key, Iterable<IntWritable> values, Context context)
      throws IOException, InterruptedException {

    int maxValue = Integer.MIN_VALUE;
    for (IntWritable value : values) {
      maxValue = Math.max(maxValue, value.get());
    }
    context.write(key, new IntWritable(maxValue));
  }
}
```

Uruchamianie kodu lokalnie na danych testowych

Skoro mapper i reduktor działają już dla kontrolowanych danych wejściowych, następny krok polega na napisaniu sterownika zadania i uruchomieniu go na danych testowych na maszynie programisty.

Uruchamianie zadania w lokalnym mechanizmie wykonywania zadań

Za pomocą przedstawionego wcześniej w rozdziale interfejsu `Tool` łatwo jest napisać sterownik do wykonywania w modelu MapReduce zadania wyszukującego maksymalną temperaturę z poszczególnych lat (zobacz klasę `MaxTemperatureDriver` na listingu 6.10).

Listing 6.10. Aplikacja do wyszukiwania maksymalnej temperatury

```
public class MaxTemperatureDriver extends Configured implements Tool {

  @Override
  public int run(String[] args) throws Exception {
    if (args.length != 2) {
      System.err.printf("Użytkowanie: %s [ogólne opcje] <wejście> <wyjście>\n",
          getClass().getSimpleName());
      ToolRunner.printGenericCommandUsage(System.err);
      return -1;
    }

    Job job = new Job(getConf(), "Max temperature");
    job.setJarByClass(getClass());

    FileInputFormat.addInputPath(job, new Path(args[0]));
    FileOutputFormat.setOutputPath(job, new Path(args[1]));

    job.setMapperClass(MaxTemperatureMapper.class);
    job.setCombinerClass(MaxTemperatureReducer.class);
    job.setReducerClass(MaxTemperatureReducer.class);

    job.setOutputKeyClass(Text.class);
    job.setOutputValueClass(IntWritable.class);

    return job.waitForCompletion(true) ? 0 : 1;
  }

  public static void main(String[] args) throws Exception {
    int exitCode = ToolRunner.run(new MaxTemperatureDriver(), args);
    System.exit(exitCode);
  }
}
```

Klasa `MaxTemperatureDriver` implementuje interfejs `Tool`, dzięki czemu można ustawiać opcje obsługiwane przez klasę `GenericOptionsParser`. Metoda `run()` tworzy obiekt typu `Job` na podstawie konfiguracji jednostki używanej do uruchamiania zadania. Spośród dostępnych parametrów konfiguracji zadania ustawiane są ścieżki do plików wejściowego i wyjściowego, klasy mappera, reduktora i mechanizmu łączenia (ang. *combiner*), a także typy wyjściowe (typy wejściowe są ustalane na podstawie formatu wejściowego; domyślnie używany jest format `TextInputFormat` z kluczami typu `LongWritable` i wartościami typu `Text`). Warto też ustawić nazwę zadania (`Max temperature`), co pozwala znaleźć zadanie na liście w trakcie jego wykonywania i po zakończeniu jego pracy. Domyślnie nazwą jest nazwa pliku JAR, która zwykle nie opisuje dobrze zadania.

Teraz można uruchomić aplikację na plikach lokalnych. Hadoop udostępnia lokalny mechanizm wykonywania zadań, który jest uproszczoną wersją silnika wykonawczego modelu MapReduce, przeznaczoną do uruchamiania zadań w jednej maszynie JVM. Ten mechanizm jest zaprojektowany na potrzeby testów i bardzo łatwo używa się go w środowisku IDE, ponieważ można uruchomić go w debugerze, aby w trybie kroczenia przejść przez kod mappera i reduktora.

Lokalny mechanizm wykonywania zadań jest używany, gdy właściwość `mapreduce.framework.name` jest ustawiona na wartość `local` (jest to ustawienie domyślne)[1].

Z poziomu wiersza poleceń można uruchomić sterownik w następujący sposób:

```
% mvn compile
% export HADOOP_CLASSPATH=target/classes/
% hadoop v2.MaxTemperatureDriver -conf conf/hadoop-local.xml \
  input/ncdc/micro output
```

Inna możliwość to zastosowanie opcji `-fs` i `-jt` udostępnianych przez klasę `GenericOptionsParser`.

```
% hadoop v2.MaxTemperatureDriver -fs file:/// -jt local input/ncdc/micro output
```

Ta instrukcja uruchamia sterownik `MaxTemperatureDriver` z wykorzystaniem danych wejściowych z lokalnego katalogu *input/ncdc/micro* i generuje dane wyjściowe w lokalnym katalogu *output*. Zauważ, że choć ustawiona jest opcja `-fs` i używany jest lokalny system plików (`file:///`), lokalny mechanizm wykonywania zadań działa poprawnie dla dowolnego systemu plików, w tym dla systemu HDFS (jest to wygodne, jeśli przechowujesz w nim sporo plików).

Następnie można sprawdzić dane wyjściowe w lokalnym systemie plików:

```
% cat output/part-r-00000
1949 111
1950 22
```

Testowanie sterownika

Zaimplementowanie w aplikacji interfejsu `Tool` zwiększa możliwości w zakresie opcji konfiguracyjnych, a ponadto ułatwia testowanie, ponieważ pozwala wstrzyknąć dowolny obiekt typu `Configuration`. Możesz to wykorzystać do napisania testu, który używa lokalnego mechanizmu wykonywania zadania na znanych danych wejściowych i sprawdza, czy dane wyjściowe są zgodne z oczekiwaniami.

Rozwiązanie można przygotować na dwa sposoby. Pierwszy polega na użyciu lokalnego mechanizmu do uruchomienia zadania na pliku testowym w lokalnym systemie plików. Kod z listingu 6.11 pokazuje, jak to zrobić.

Listing 6.11. Test sterownika MaxTemperatureDriver z wykorzystaniem lokalnego, wewnątrzprocesowego mechanizmu wykonywania zadań

```
@Test
public void test() throws Exception {
  Configuration conf = new Configuration();
  conf.set("fs.defaultFS", "file:///");
  conf.set("mapreduce.framework.name", "local");
  conf.setInt("mapreduce.task.io.sort.mb", 1);

  Path input = new Path("input/ncdc/micro");
  Path output = new Path("output");

  FileSystem fs = FileSystem.getLocal(conf);
  fs.delete(output, true); // Usuwanie dawnych danych wyjściowych

  MaxTemperatureDriver driver = new MaxTemperatureDriver();
```

[1] W Hadoopie 1 sposób wykonywania określa właściwość `mapred.job.tracker`. Wartość `local` oznacza użycie lokalnego mechanizmu wykonywania zadań, a rozdzielona przecinkiem para host-port pozwala podać adres jobtrackera.

```
    driver.setConf(conf);

    int exitCode = driver.run(new String[] {
        input.toString(), output.toString() });
    assertThat(exitCode, is(0));

    checkOutput(conf, output);
  }
```

Test bezpośrednio ustawia opcje `fs.defaultFS` i `mapreduce.framework.name`, co oznacza, że używany jest lokalny system plików i mechanizm wykonywania zadań. Następnie test uruchamia sterownik `MaxTemperatureDriver` za pomocą interfejsu `Tool` na małym zbiorze znanych danych. W końcowej części testu wywoływana jest metoda `checkOutput()` w celu porównania wiersz po wierszu rzeczywistych danych wyjściowych z oczekiwanymi.

Drugi sposób testowania sterownika polega na uruchomieniu go za pomocą miniklastra. Hadoop udostępnia zestaw klas testowych `MiniDFSCluster`, `MiniMRCluster` i `MiniYARNCluster`, które umożliwiają programowe tworzenie klastrów wewnątrzprocesowych. W odróżnieniu od lokalnego mechanizmu wykonywania zadań te klasy pozwalają na przeprowadzanie testów z użyciem kompletnych systemów HDFS, MapReduce i YARN. Pamiętaj też, że menedżery węzłów w miniklastrach uruchamiają odrębne maszyny JVM do wykonywania zadań, co utrudnia debugowanie.

Miniklaster możesz też uruchomić z poziomu wiersza poleceń za pomocą następującej instrukcji:

```
% hadoop jar \
  $HADOOP_HOME/share/hadoop/mapreduce/hadoop-mapreduce-*-tests.jar \
  minicluster
```

Miniklastry są często używane w zautomatyzowanych pakietach testów Hadoopa, można je jednak stosować także do testowania kodu użytkowników. Klasa abstrakcyjna `ClusterMapReduceTestCase` Hadoopa to użyteczny punkt wyjścia do pisania takich testów. Ta klasa obsługuje uruchamianie (metoda `setUp()`) i zatrzymywanie (metoda `tearDown()`) wewnątrzprocesowych klastrów z systemami HDFS i YARN oraz generuje odpowiedni obiekt typu `Configuration` dostosowany do współpracy z takimi klastrami. W podklasach trzeba tylko umieścić dane w systemie HDFS (na przykład w wyniku skopiowania ich z lokalnego pliku), uruchomić zadanie w modelu MapReduce i sprawdzić, czy dane wyjściowe są zgodne z oczekiwanymi. Przykładowy kod znajdziesz w klasie `MaxTemperature`
`↪DriverMiniTest` dostępnej w plikach dołączonych do książki.

Tego rodzaju testy są używane w testach regresyjnych i stanowią przydatne repozytorium przypadków brzegowych w danych wejściowych razem z oczekiwanymi dla nich wynikami. Gdy natrafisz na kolejne przypadki testowe, wystarczy, że dodasz je do pliku wejściowego i odpowiednio zaktualizujesz plik z oczekiwanymi danymi wyjściowymi.

Uruchamianie programów w klastrze

Gdy już jesteś zadowolony z działania programu dla małego testowego zbioru danych, możesz wypróbować kod na pełnym zbiorze danych w klastrze Hadoopa. Opis budowania w pełni rozproszonego klastra znajdziesz w rozdziale 10. Możesz też wykorzystać informacje z tego punktu i utworzyć pseudorozproszony klaster.

Tworzenie pakietu z zadaniem

Lokalny mechanizm wykonywania zadań używa jednej maszyny JVM do wykonywania zadania. Dlatego jeśli wszystkie klasy potrzebne w zadaniu są dostępne w ścieżce do klas, rozwiązanie będzie działać.

W środowisku rozproszonym sytuacja się komplikuje. Klasy zadania trzeba umieścić w *pliku JAR zadania* umieszczanym w klastrze. Hadoop automatycznie znajduje ten plik, wyszukując pliki JAR na podstawie ścieżki do klas sterownika zawierającej klasę ustawioną w metodzie `setJarByClass()` (klasy `JobConf` lub `Job`). Inna możliwość to ustawienie pliku JAR bezpośrednio za pomocą ścieżki do pliku, do czego służy metoda `setJar()`. Ścieżka do pliku JAR może prowadzić do lokalnego systemu plików lub systemu HDFS.

Do tworzenia pliku JAR można wykorzystać wygodne narzędzie do budowania, takie jak Ant lub Maven. Na podstawie pliku POM przedstawionego na listingu 6.3 poniższa instrukcja utworzy w katalogu projektu plik JAR *hadoop-examples.jar* zawierający wszystkie skompilowane klasy.

```
% mvn package -DskipTests
```

Jeśli każdemu zadaniu odpowiada plik JAR, można wskazać przeznaczoną do uruchomienia główną klasę w manifeście pliku JAR. Jeżeli główna klasa nie jest wskazana w manifeście, trzeba ją ustawić w wierszu poleceń (wkrótce w kontekście uruchamiania zadania zobaczysz, jak to zrobić).

Pliki JAR z zależnościami można umieścić w podkatalogu *lib* pliku JAR zadania, przy czym istnieją też inne, opisane dalej sposoby dodawania zależności. Podobnie pliki zasobów można zapisać w podkatalogu *classes* (to rozwiązanie przypomina pliki WAR — ang. *Web application archive* — Javy, przy czym pliki JAR trafiają w nich do podkatalogu *WEB-INF/lib*, a klasy do podkatalogu *WEB-INF/classes*).

Ścieżka do klas po stronie klienta

Ścieżka do klas po stronie klienta ustawiana przez polecenie `hadoop jar <jar>` obejmuje następujące elementy:

- plik JAR zadania,
- pliki JAR z katalogu *lib* z pliku JAR zadania oraz katalog *classes* (jeśli istnieje),
- zawartość zmiennej `HADOOP_CLASSPATH` (jeżeli jest ustawiona).

To wyjaśnia, dlaczego w zmiennej `HADOOP_CLASSPATH` trzeba wskazać klasy i biblioteki z zależnościami, jeśli używany jest lokalny mechanizm uruchamiania zadań bez pliku JAR zadania (wywołanie `hadoop NAZWA_KLASY`).

Ścieżka do klas dla operacji

W klastrze (dotyczy to także trybu pseudorozproszonego) operacje mapowania i redukowania działają w odrębnych maszynach JVM. Ścieżki do klas tych operacji *nie* są kontrolowane za pomocą zmiennej `HADOOP_CLASSPATH`. `HADOOP_CLASSPATH` to ustawienie używane po stronie klienta, określające tylko ścieżkę do klas maszyny JVM sterownika, która zgłasza zadanie.

Ścieżka do klas operacji użytkownika obejmuje następujące elementy:

- plik JAR zadania,
- pliki JAR z katalogu *lib* z pliku JAR zadania oraz katalog *classes* (jeśli istnieje),
- pliki dodane do rozproszonej pamięci podręcznej za pomocą opcji `-libjars` (zobacz tabelę 6.1) lub metody `addFileToClassPath()` klasy `DistributedCache` (w dawnym interfejsie API) albo `Job` (w nowym interfejsie API).

Dodawanie zależności do pakietu

Ponieważ istnieją różne sposoby kontrolowania zawartości ścieżki do klas klientów i operacji, dostępne są też odpowiednie techniki dołączania zależności bibliotecznych dla zadań. Możesz:

- wypakować biblioteki i dodać je do pliku JAR zadania,
- umieścić biblioteki w katalogu *lib* pliku JAR zadania,
- przechowywać biblioteki niezależnie od pliku JAR zadania i dodawać je do ścieżki do klas klienta za pomocą zmiennej `HADOOP_CLASSPATH` i do ścieżki do klas operacji przy użyciu opcji `-libjars`.

Ostatnie rozwiązanie, wykorzystanie rozproszonej pamięci podręcznej, jest najprostsze, jeśli chodzi o budowanie, ponieważ zależności nie trzeba dodawać do pliku JAR zadania. Ponadto użycie rozproszonej pamięci podręcznej może oznaczać mniej operacji przenoszenia plików JAR w klastrze, ponieważ pliki między operacjami można przechowywać w pamięci podręcznej w węźle.

Kolejność uwzględniania ścieżek do klas operacji

Pliki JAR użytkownika są dodawane na koniec ścieżek do klas klienta i operacji. W niektórych sytuacjach powoduje to konflikt zależności z wbudowanymi bibliotekami Hadoopa, jeśli Hadoop korzysta z innej, niezgodnej wersji biblioteki używanej w kodzie. Czasem potrzebna jest możliwość kontrolowania kolejności elementów w ścieżce do klas operacji, tak aby potrzebne klasy były wybierane jako pierwsze. Po stronie klienta można wymusić na Hadoopie umieszczenie na początku ścieżki do klas użytkownika. Aby to zrobić, ustaw zmienną środowiskową `HADOOP_USER_CLASSPATH_FIRST` na wartość `true`. Natomiast by na początku wybierana była ścieżka do klas operacji, na wartość `true` należy ustawić właściwość `mapreduce.job.user.classpath.first`. Zauważ, że ustawienie tych opcji powoduje zmianę kolejności wczytywanych klas z zależnościami platformy Hadoop (ale tylko w danym zadaniu). Potencjalnie może to spowodować błąd przesyłania zadania lub wykonywania operacji, dlatego zachowaj ostrożność przy stosowaniu tych opcji.

Uruchamianie zadania

Aby wywołać zadanie, należy uruchomić sterownik, wskazując przy tym za pomocą opcji `-conf` klaster, w którym zadanie ma działać (można też zastosować opcje `-fs` i `-jt`).

```
% unset HADOOP_CLASSPATH
% hadoop jar hadoop-examples.jar v2.MaxTemperatureDriver \
  -conf conf/hadoop-cluster.xml input/ncdc/all max-temp
```

Zmienna środowiskowa `HADOOP_CLASSPATH` jest zerowana, ponieważ dla tego zadania nie są używane żadne niestandardowe zależności. Gdyby zmienna pozostała ustawiona na wartość `target/classes/` (tę wartość dodano wcześniej w rozdziale), Hadoop nie znalazłby pliku JAR z zadaniem. Wczytałby klasę `MaxTemperatureDriver` z katalogu *target/classes* zamiast z pliku JAR, przez co zadanie zakończyłoby się niepowodzeniem.

Metoda `waitForCompletion()` klasy `Job` uruchamia zadanie i sprawdza jego postęp. Gdy w operacji mapowania lub redukowania zachodzą zmiany, wspomniana metoda wyświetla informacje na ten temat. Oto dane wyjściowe (część wierszy w celu zachowania przejrzystości usunięto).

```
14/09/12 06:38:11 INFO input.FileInputFormat: Total input paths to process : 101
14/09/12 06:38:11 INFO impl.YarnClientImpl: Submitted application
application_1410450250506_0003
14/09/12 06:38:12 INFO mapreduce.Job: Running job: job_1410450250506_0003
14/09/12 06:38:26 INFO mapreduce.Job:  map 0% reduce 0%
...
14/09/12 06:45:24 INFO mapreduce.Job:  map 100% reduce 100%
14/09/12 06:45:24 INFO mapreduce.Job: Job job_1410450250506_0003 completed
successfully
14/09/12 06:45:24 INFO mapreduce.Job: Counters: 49
    File System Counters
        FILE: Number of bytes read=93995
        FILE: Number of bytes written=10273563
        FILE: Number of read operations=0
        FILE: Number of large read operations=0
        FILE: Number of write operations=0
        HDFS: Number of bytes read=33485855415
        HDFS: Number of bytes written=904
        HDFS: Number of read operations=327
        HDFS: Number of large read operations=0
        HDFS: Number of write operations=16
    Job Counters
        Launched map tasks=101
        Launched reduce tasks=8
        Data-local map tasks=101
        Total time spent by all maps in occupied slots (ms)=5954495
        Total time spent by all reduces in occupied slots (ms)=74934
        Total time spent by all map tasks (ms)=5954495
        Total time spent by all reduce tasks (ms)=74934
        Total vcore-seconds taken by all map tasks=5954495
        Total vcore-seconds taken by all reduce tasks=74934
        Total megabyte-seconds taken by all map tasks=6097402880
        Total megabyte-seconds taken by all reduce tasks=76732416
    Map-Reduce Framework
        Map input records=1209901509
        Map output records=1143764653
        Map output bytes=10293881877
        Map output materialized bytes=14193
        Input split bytes=14140
        Combine input records=1143764772
        Combine output records=234
        Reduce input groups=100
        Reduce shuffle bytes=14193
        Reduce input records=115
        Reduce output records=100
        Spilled Records=379
        Shuffled Maps =808
        Failed Shuffles=0
        Merged Map outputs=808
        GC time elapsed (ms)=101080
```

```
        CPU time spent (ms)=5113180
        Physical memory (bytes) snapshot=60509106176
        Virtual memory (bytes) snapshot=167657209856
        Total committed heap usage (bytes)=68220878848
    Shuffle Errors
        BAD_ID=0
        CONNECTION=0
        IO_ERROR=0
        WRONG_LENGTH=0
        WRONG_MAP=0
        WRONG_REDUCE=0
    File Input Format Counters
        Bytes Read=33485841275
    File Output Format Counters
        Bytes Written=90
```

Te dane wyjściowe obejmują wiele przydatnych informacji. Przed rozpoczęciem zadania wyświetlany jest jego identyfikator. Jest on potrzebny, gdy trzeba wskazać zadanie (na przykład w plikach dziennika) lub przy sprawdzaniu go przy użyciu polecenia `mapred job`. Po zakończeniu pracy zadania wyświetlane są dotyczące go statystyki (nazywane licznikami — `counters`). Są one bardzo przydatne do upewniania się, że zadanie wykonało oczekiwane czynności. Na przykład w pokazanym zadaniu przeanalizowano 1,2 miliarda rekordów (`Map input records`) i wczytano dane z około 34 GB skompresowanych plików z systemu HDFS (`HDFS: Number of bytes read`). Dane wejściowe zostały podzielone na 101 plików w formacie gzip o akceptowalnej wielkości, co oznacza, że nie wystąpiły problemy z ich podziałem.

Więcej o znaczeniu poszczególnych liczników dowiesz się z punktu „Liczniki wbudowane” w rozdziale 9.

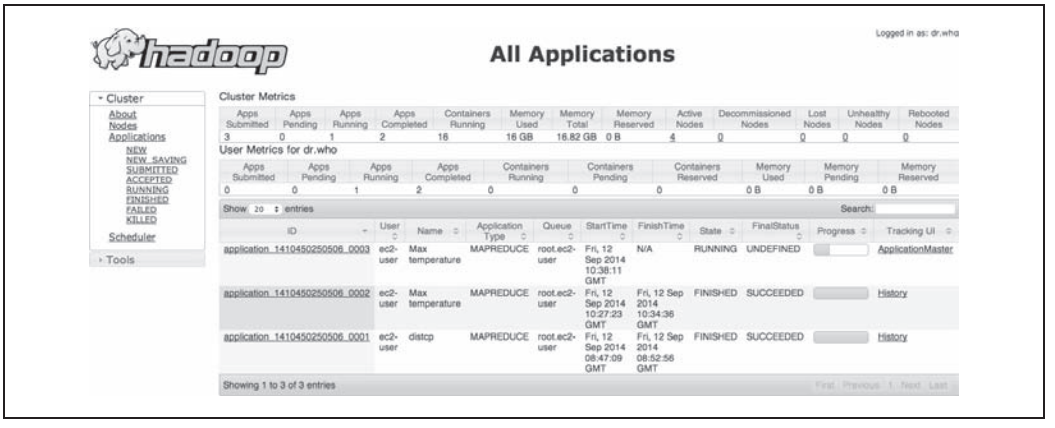
Sieciowy interfejs użytkownika modelu MapReduce

Hadoop udostępnia sieciowy interfejs użytkownika do wyświetlania informacji na temat zadań. Jest on przydatny do śledzenia postępów zadań w trakcie ich wykonywania, a także wyszukiwania statystyk i dzienników po zakończeniu pracy przez zadanie. Ten interfejs użytkownika jest dostępny pod adresem *http://resource-manager-host:8088/*.

Strona menedżera zasobów

Zrzut strony głównej jest przedstawiony na rysunku 6.1. Sekcja *Cluster Metrics* zawiera przegląd informacji o klastrze. Obejmują one liczbę aplikacji aktualnie działających w klastrze (oraz aplikacji w innym stanie), ilość dostępnych w klastrze zasobów (*Memory Total*) i informacje o menedżerach węzłów.

W głównej tabeli wymienione są wszystkie aplikacje, które zostały wykonane lub działają w klastrze. Dostępne jest pole wyszukiwania przydatne do filtrowania aplikacji w celu znalezienia potrzebnych. W głównym oknie wyświetlanych jest do 100 pozycji na stronę, a menedżer zasobów przechowuje w pamięci jednocześnie do 10 000 ukończonych aplikacji (tę wartość określa właściwość `yarn.resourcemanager.max-completed-applications`); starsze aplikacje są dostępne tylko na stronie historii zadań. Zauważ, że historia zadań jest trwała, dlatego znajdują się w niej także zadania z poprzednich uruchomień menedżera zasobów.



Rysunek 6.1. Zrzut strony menedżera zasobów

Identyfikatory zadania, operacji i prób wykonania operacji

W Hadoopie 2 identyfikatory zadań w modelu MapReduce są generowane na podstawie identyfikatorów aplikacji systemu YARN (te identyfikatory są tworzone przez menedżer zasobów systemu YARN). Identyfikator aplikacji obejmuje czas uruchomienia menedżera zasobów (a nie samej aplikacji) i wartość licznika zwiększaną przez menedżer zasobów. Wartość licznika pozwala w niepowtarzalny sposób identyfikować aplikacje w danym egzemplarzu menedżera zasobów. Oto przykładowy identyfikator aplikacji:

```
application_1410450250506_0003
```

Jest to trzecia (0003; identyfikatory aplikacji rozpoczynają się od wartości 1) aplikacja z danego menedżera zasobów, który rozpoczął pracę w czasie reprezentowanym przez znacznik `1410450250506`. Licznik jest uzupełniany początkowymi zerami, co pozwala na wygodne sortowanie identyfikatorów (na przykład na liście zawartości katalogów). Jednak gdy licznik dojdzie do wartości 10000, *nie* jest resetowany, przez co identyfikatory aplikacji stają się dłuższe. Utrudnia to sortowanie.

Identyfikator zadania jest tworzony w wyniku zastąpienia przedrostka `application` z identyfikatora aplikacji przedrostkiem `job`.

```
job_1410450250506_0003
```

Operacje należą do zadania, a ich identyfikatory są tworzone przez zastąpienie przedrostka `job` w identyfikatorze zadania przedrostkiem `task` i dodanie przyrostka identyfikującego operacje w zadaniu. Oto przykład:

```
task_1410450250506_0003_m_000003
```

Jest to czwarta (000003; identyfikatory operacji są numerowane od 0) operacja mapowania (`m`) w zadaniu o identyfikatorze `job_1410450250506_0003`. Identyfikatory operacji są tworzone dla zadania w momencie ich inicjowania, dlatego nie wyznaczają kolejności wykonywania operacji.

Operacje mogą być wykonywane więcej niż raz, na przykład z powodu błędu (zobacz punkt „Niepowodzenie operacji” w rozdziale 7.) lub spekulacyjnego wykonania (zobacz punkt „Wykonywanie spekulacyjne” w rozdziale 7.). Dlatego aby zidentyfikować różne przypadki wykonania operacji, nadaje się unikatowe identyfikatory próbom wykonania operacji. Oto przykład:

```
attempt_1410450250506_0003_m_000003_0
```

Jest to pierwsza (0; identyfikatory prób wykonania są numerowane od 0) próba uruchomienia operacji `task_1410450250506_0003_m_000003`. Próby wykonania operacji są podejmowane w zależności od potrzeby w trakcie pracy zadania, dlatego ich numery odpowiadają kolejności podejmowania prób.

Historia zadań

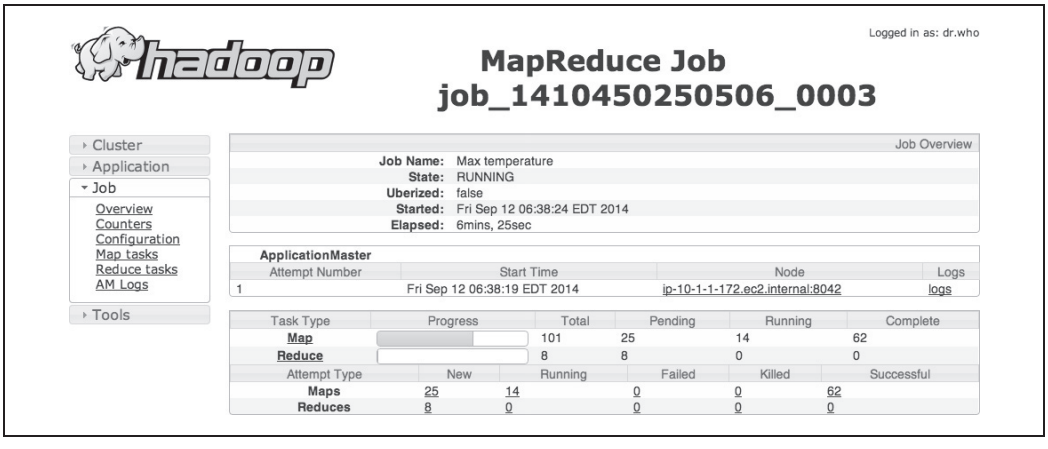
Historia zadań dotyczy zdarzeń i konfiguracji ukończonych zadań w modelu MapReduce. Jest zachowywana niezależnie od tego, czy zadanie zostało ukończone z powodzeniem, czy nie. Ma zapewniać przydatne informacje użytkownikowi uruchamiającemu zadanie.

Pliki z historią zadań są zapisywane przez zarządcę aplikacji z modelu MapReduce w systemie HDFS w katalogu określonym we właściwości `mapreduce.jobhistory.done-dir`. Pliki historii zadań są przechowywane przez tydzień, po czym są usuwane przez system.

Dziennik z historią obejmuje zdarzenia dotyczące zadań, operacji i prób. Wszystkie te informacje są przechowywane w pliku w formacie JSON. Historię konkretnego zadania można wyświetlić za pomocą sieciowego interfejsu użytkownika serwera historii zadań (odnośnik do niego znajdziesz na stronie menedżera zasobów) lub z poziomu wiersza poleceń przy użyciu instrukcji `mapred job -history` (należy jej wskazać plik z historią zadań).

Strona zadania w modelu MapReduce

Gdy klikniesz odnośnik *Tracking UI*, przejdziesz do sieciowego interfejsu użytkownika zarządcy aplikacji (lub do strony z historią, jeśli aplikacja zakończyła pracę). W modelu MapReduce pojawia się wtedy strona zadania taka jak na rysunku 6.2.



Rysunek 6.2. Zrzuty strony zadania

W trakcie działania zadania można na tej stronie śledzić jego postęp. Tabela w dolnej części strony pokazuje postęp operacji mapowania i redukowania. Kolumna *Total* zawiera łączną liczbę operacji mapowania i redukowania dla danego zadania (dla poszczególnych typów operacji dostępne są odrębne wiersze). Pozostałe kolumny wyświetlają stan operacji — *Pending* (oczekujące na uruchomienie), *Running* (w toku) lub *Complete* (z powodzeniem ukończone).

W dolnej części tabeli widoczna jest łączna liczba nieudanych i zamkniętych prób wykonania operacji mapowania i redukowania. Próby wykonania operacji są oznaczone jako zamknięte, jeśli są duplikatami spekulacyjnych prób wykonania, jeśli ich węzeł przestał działać lub jeśli zostały zamknięte przez użytkownika. Omówienie nieudanych wykonań operacji znajdziesz w punkcie „Niepowodzenie operacji” w rozdziale 7.

Ponadto w nawigacji znajduje się wiele przydatnych odnośników. Na przykład odnośnik *Configuration* prowadzi do skonsolidowanego pliku z konfiguracją zadania, zawierającego wszystkie właściwości i ich wartości z czasu wykonywania zadania. Jeśli nie masz pewności, na jaką wartość ustawiona była konkretna właściwość, możesz kliknąć ten odnośnik i sprawdzić wspomniany plik.

Pobieranie wyników

Po zakończeniu wykonywania zadania wyniki można pobrać na kilka sposobów. Każdy reduktor generuje jeden plik wyjściowy. W katalogu *max-temp* pojawia się więc 30 fragmentarycznych plików o nazwach od *part-r-00000* do *part-r-00029*.

Jak wskazuje na to nazwa, fragmentaryczne pliki warto traktować jak fragmenty „pliku" *max-temp*.

Jeśli dane wyjściowe są długie (inaczej niż w omawianym przykładzie), ważne jest używanie wielu fragmentów, dzięki czemu równolegle mogą działać liczne reduktory. Nawet jeśli plik jest podzielony na części, zwykle nadal można z niego łatwo korzystać — na przykład jak z danych wejściowych do innego zadania w modelu MapReduce. W niektórych sytuacjach można wykorzystać strukturę fragmentów do przeprowadzenia złączania na etapie mapowania (zobacz punkt „Złączanie po stronie mapowania" w rozdziale 9.).

Omawiane zadanie generuje bardzo niewielką ilość danych wyjściowych, dlatego można je wygodnie skopiować z systemu HDFS do maszyny programisty. Służy do tego opcja `-getmerge` instrukcji `hadoop fs`, która pobiera wszystkie pliki z katalogu wskazanego za pomocą wzorca wejściowego i scala je w jeden plik w lokalnym systemie plików.

```
% hadoop fs -getmerge max-temp max-temp-local
% sort max-temp-local | tail
1991	607
1992	605
1993	567
1994	568
1995	567
1996	561
1997	565
1998	568
1999	568
2000	558
```

Dane wyjściowe są sortowane, ponieważ fragmenty z danych wyjściowych z etapu redukowania są nieuporządkowane (to efekt działania partycjonującej funkcji skrótu). Przetwarzanie końcowe danych z modelu MapReduce jest bardzo częste, podobnie jak przekazywanie ich do narzędzi analitycznych (takich jak R, arkusze kalkulacyjne, a nawet relacyjne bazy danych).

Inny sposób na pobieranie niewielkich zbiorów danych wyjściowych to użycie opcji `-cat` w celu wyświetlenia plików wyjściowych w konsoli.

```
% hadoop fs -cat max-temp/*
```

Po bliższej analizie okazuje się, że niektóre wyniki wyglądają podejrzanie. Na przykład maksymalna temperatura dla roku 1951 (niepokazana w wynikach) to 590°C! Jak ustalić, co jest tego przyczyną? Czy to efekt błędnych danych wejściowych, czy błędu w programie?

Debugowanie zadania

Tradycyjnym sposobem debugowania programów jest używanie instrukcji `print`. Oczywiście w Hadoopie też jest to możliwe. Należy jednak uwzględnić różne komplikacje. Programy działają w dziesiątkach, setkach, a nawet tysiącach węzłów. Jak więc znaleźć i zbadać dane wyjściowe z instrukcji diagnostycznych z rozmaitych węzłów? W omawianym przykładzie szukany jest nietypowy (zdaniem programisty) przypadek. Dlatego można wykorzystać instrukcję diagnostyczną do zarejestrowania informacji w standardowym strumieniu błędów i zaktualizować komunikat o stanie operacji, tak by sugerował zapoznanie się z dziennikiem błędów. Sieciowy interfejs użytkownika pozwala łatwo uzyskać pożądany efekt dzięki przekazaniu odpowiedniego tekstu.

Można też utworzyć niestandardowy licznik określający łączną liczbę rekordów z nierealistycznymi temperaturami w całym zbiorze danych. Zapewnia to cenne informacje na temat tego, jak radzić sobie z takimi danymi. Jeśli się okaże, że błędne temperatury pojawiają się często, konieczne może okazać się sprawdzenie, z czego to wynika, i wymyślenie sposobu na pobieranie temperatury zamiast prostego ignorowania podejrzanych rekordów. W trakcie diagnozowania zadania zawsze należy zadać sobie pytanie, czy można wykorzystać licznik do uzyskania informacji potrzebnych do ustalenia, co się dzieje. Nawet jeśli konieczne są komunikaty o stanie lub rejestrowanie zdarzeń, licznik może okazać się przydatny do oceny powagi problemu. Więcej o licznikach dowiesz się z punktu „Liczniki” w rozdziale 9.

Jeśli w trakcie diagnozowania generowane są duże ilości danych w dzienniku, dostępnych jest kilka możliwości. Jedna polega na zapisaniu informacji w danych wyjściowych etapu mapowania zamiast w standardowym strumieniu błędów. Pozwala to na analizę i agregację danych w ramach operacji redukcji. To podejście zwykle wymaga zmian w strukturze programu, dlatego warto zacząć od innej techniki. Polega ona na napisaniu programu (oczywiście w modelu MapReduce) do analizowania generowanych przez zadanie danych z dziennika.

Kod związany z diagnozowaniem należy dodać do mappera (wersja 3.), a nie do reduktora, ponieważ celem jest ustalenie danych źródłowych prowadzących do uzyskania nieakceptowalnych danych wyjściowych.

```
public class MaxTemperatureMapper
    extends Mapper<LongWritable, Text, Text, IntWritable> {

  enum Temperature {
    OVER_100
  }

  private NcdcRecordParser parser = new NcdcRecordParser();

  @Override
  public void map(LongWritable key, Text value, Context context)
      throws IOException, InterruptedException {

    parser.parse(value);
    if (parser.isValidTemperature()) {
      int airTemperature = parser.getAirTemperature();
      if (airTemperature > 1000) {
        System.err.println("Temperatura ponad 100 stopni dla danych: " + value);
        context.setStatus("Wykryto uszkodzony rekord (patrz dziennik).");
        context.getCounter(Temperature.OVER_100).increment(1);
      }
```

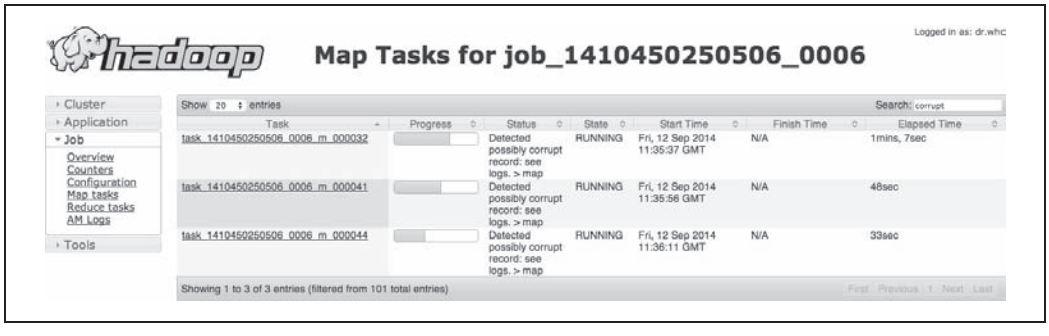
```
            context.write(new Text(parser.getYear()), new IntWritable(airTemperature));
        }
    }
}
```

Jeśli temperatura wynosi ponad 100°C (co reprezentują wartości powyżej 1000, ponieważ temperatura jest zapisywana w dziesiętnych częściach stopni), kod zapisuje w standardowym strumieniu błędów podejrzany wiersz, a także za pomocą metody `setStatus()` klasy `Context` aktualizuje komunikat o stanie operacji mapowania, by skierować użytkowników do dziennika. Ponadto zwiększana jest wartość licznika, reprezentowana w Javie za pomocą pola typu wyliczeniowego. W tym programie zdefiniowane jest jedno pole, `OVER_100`, pozwalające zliczyć rekordy z temperaturą przekraczającą 100°C.

Po wprowadzeniu zmian należy ponownie skompilować kod, odtworzyć plik JAR, a następnie uruchomić zadanie i w trakcie jego wykonywania przejść do strony operacji.

Strony operacji i prób wykonania operacji

Strona zadania zawiera szereg odnośników do wyświetlania szczegółowych danych na temat operacji. Na przykład odnośnik *Map* prowadzi do strony z informacjami o wszystkich operacjach mapowania. Zrzut z rysunku 6.3 przedstawia tę stronę dla uruchomionego zadania. W kolumnie *Status* operacji widoczne są komunikaty diagnostyczne.



Rysunek 6.3. Zrzut ze stroną operacji

Kliknięcie odnośnika do operacji powoduje przejście do strony z próbami wykonania. Widoczne są na niej wszystkie próby wykonania danej operacji. Przy każdej próbie znajdują się odnośniki do plików dziennika i liczników. Kliknięcie jednego z odnośników do plików dziennika dla udanych prób wykonania zadania pozwala znaleźć zarejestrowane podejrzane rekordy z danych wyjściowych (pokazany wiersz jest podzielony i skrócony, aby zmieścił się na stronie).

```
Temperatura ponad 100 stopni dla danych:
033599999943318195704230200 5+37950+139117SAO   +0004RJSN V020113590031500703569 99
99943320195701010100005+35317+139650SAO +000899999V0200235900265007624 9N0040005...
```

Wygląda na to, że ten rekord ma inny format niż pozostałe. W wierszu występują spacje, co nie jest opisane w specyfikacji.

Po zakończeniu zadania można sprawdzić wartość zdefiniowanego licznika, aby ustalić, ile rekordów z temperaturą powyżej 100°C znajduje się w całym zbiorze danych. Dostęp do liczników jest możliwy za pomocą sieciowego interfejsu użytkownika i wiersza poleceń.

```
% mapred job -counter job_1410450250506_0006 \
  'v3.MaxTemperatureMapper$Temperature' OVER_100
3
```

Opcja `-counter` przyjmuje identyfikator zadania, nazwę grupy licznika (tu jest to pełna nazwa klasy) i nazwę licznika (nazwę wyliczenia). W całym zbiorze danych obejmującym ponad miliard rekordów występują tylko trzy błędne rekordy. Usuwanie nieprawidłowych rekordów to standardowe rozwiązanie w wielu problemach związanych z wielkimi danymi, choć tu należy zachować ostrożność, ponieważ szukane są skrajne wartości (maksymalna temperatura), a nie zagregowany wynik. Jednak pominięcie trzech rekordów prawdopodobnie nie zmieni rezultatów.

Obsługa nieprawidłowych danych

Zapisanie danych wejściowych powodujących problem jest przydatne. Można je wykorzystać w teście do sprawdzenia, czy mapper działa prawidłowo. Poniższy test z platformy MRUnit sprawdza, czy licznik jest aktualizowany po wykryciu błędnych danych wejściowych.

```
@Test
public void parsesMalformedTemperature() throws IOException,
    InterruptedException {
  Text value = new Text("0335999999433181957042302005+37950+139117SAO +0004" +
                                  // Rok ^^^^
      "RJSN V020113590031500703569999994332019570101000 05+353");
                            // Temperatura ^^^^^
  Counters counters = new Counters();
  new MapDriver<LongWritable, Text, Text, IntWritable>()
    .withMapper(new MaxTemperatureMapper())
    .withInput(new LongWritable(0), value)
    .withCounters(counters)
    .runTest();
  Counter c = counters.findCounter(MaxTemperatureMapper.Temperature.MALFORMED);
  assertThat(c.getValue(), is(1L));
}
```

Rekord powodujący problem ma odmienny format niż inne przedstawione wcześniej wiersze. Na listingu 6.12 pokazany jest zmodyfikowany program (wersja 4.). Używa on parsera ignorującego każdy wiersz, w którym pole z temperaturą nie jest poprzedzone znakiem plus lub minus. Ponadto dodany został licznik, który określa, ile rekordów zostało pominiętych z tego powodu.

Listing 6.12. Mapper dla przykładu z wyszukiwaniem maksymalnej temperatury

```
public class MaxTemperatureMapper
    extends Mapper<LongWritable, Text, Text, IntWritable> {

  enum Temperature {
    MALFORMED
  }

  private NcdcRecordParser parser = new NcdcRecordParser();

  @Override
  public void map(LongWritable key, Text value, Context context)
      throws IOException, InterruptedException {

    parser.parse(value);
    if (parser.isValidTemperature()) {
      int airTemperature = parser.getAirTemperature();
      context.write(new Text(parser.getYear()), new IntWritable(airTemperature));
```

```
      } else if (parser.isMalformedTemperature()) {
        System.err.println("Ignorowanie potencjalnie błędnych danych: " + value);
        context.getCounter(Temperature.MALFORMED).increment(1);
      }
    }
  }
```

Dzienniki w Hadoopie

Hadoop generuje dzienniki w różnych miejscach i dla rozmaitych odbiorców. Przegląd dzienników przedstawia tabela 6.2.

Tabela 6.2. Typy dzienników w Hadoopie

Dzienniki	Główni odbiorcy	Opis	Dodatkowe informacje
Dzienniki demonów systemowych	Administratorzy	Każdy demon w Hadoopie generuje plik dziennika (za pomocą narzędzia log4j) i plik łączący standardowe wyjście i wyjście błędów. Są one zapisywane w katalogu zdefiniowanym przez zmienną środowiskową `HADOOP_LOG_DIR`.	„Pliki dzienników systemowych" w rozdziale 10. i „Rejestrowanie informacji w dziennikach" w rozdziale 11.
Dzienniki inspekcji z systemu HDFS	Administratorzy	Dziennik wszystkich żądań z systemu HDFS (domyślnie wyłączony). Zapisywany w dzienniku węzła nazw, choć można to zmienić.	„Rejestrowanie dziennika inspekcji" w rozdziale 11.
Dzienniki historii zadań z modelu MapReduce	Użytkownicy	Dziennik zdarzeń (takich jak ukończenie operacji) zachodzących w czasie wykonywania zadania. Zapisywany centralnie w systemie HDFS.	„Historia zadań"
Dzienniki operacji z modelu MapReduce	Użytkownicy	Każdy proces potomny operacji generuje za pomocą narzędzia log4j plik dziennika (*syslog*), plik danych przesyłanych do standardowego wyjścia (*stdout*) i plik standardowego strumienia błędów (*stderr*). Są one zapisywane w podkatalogu *userlogs* katalogu zdefiniowanego w zmiennej środowiskowej `YARN_LOG_DIR`.	Ten punkt

System YARN udostępnia usługę **agregowania dzienników**, która przyjmuje dzienniki operacji z ukończonych aplikacji i przenosi je do systemu HDFS, gdzie są zapisywane w archiwalnym pliku kontenerowym. Jeśli usługa jest włączona (wymaga to ustawienia w klastrze właściwości `yarn.log-aggregation-enable` na wartość `true`), dzienniki operacji można wyświetlić za pomocą odnośnika *logs* z sieciowego interfejsu użytkownika dla prób wykonania operacji lub przy użyciu polecenia `mapred job -logs`.

Agregowanie dzienników domyślnie nie jest włączone. Wtedy dzienniki operacji można pobrać za pomocą sieciowego interfejsu użytkownika menedżera węzła (*http://node-manager-host:8042/logs/userlogs*).

Zapis danych w plikach dzienników jest prosty. Wszystko, co jest zapisywane do standardowego wyjścia lub standardowego strumienia błędów, trafia do odpowiedniego pliku dziennika. Oczywiście w narzędziu Streaming standardowe wyjście jest używane dla danych wyjściowych operacji mapowania lub redukowania, dlatego te dane nie pojawiają się w dzienniku standardowego wyjścia.

W Javie możesz zapisać informacje w pliku *syslog* operacji za pomocą interfejsu API Apache Commons Logging (lub dowolnego interfejsu API do rejestrowania dzienników współdziałającego z narzędziem log4j). To podejście zastosowano na listingu 6.13.

Listing 6.13. Mapper tożsamościowy zapisujący dane do standardowego wyjścia i używający interfejsu API Apache Commons Logging

```
import org.apache.commons.logging.Log;
import org.apache.commons.logging.LogFactory;
import org.apache.hadoop.mapreduce.Mapper;

public class LoggingIdentityMapper<KEYIN, VALUEIN, KEYOUT, VALUEOUT>
    extends Mapper<KEYIN, VALUEIN, KEYOUT, VALUEOUT> {

  private static final Log LOG = LogFactory.getLog(LoggingIdentityMapper.class);

  @Override
  @SuppressWarnings("unchecked")
  public void map(KEYIN key, VALUEIN value, Context context)
      throws IOException, InterruptedException {
    // Rejestrowanie w pliku stdout
    System.out.println("Klucz z etapu mapowania: " + key);

    // Rejestrowanie w pliku syslog
    LOG.info("Klucz z etapu mapowania: " + key);
    if (LOG.isDebugEnabled()) {
      LOG.debug("Wartość z etapu mapowania: " + value);
    }
    context.write((KEYOUT) key, (VALUEOUT) value);
  }
}
```

Domyślny poziom rejestrowania zdarzeń to `INFO`. Dlatego komunikaty z poziomu `DEBUG` nie pojawiają się w pliku dziennika *syslog* operacji. Jednak czasem programista chce wyświetlać takie komunikaty. W tym celu należy ustawić właściwość `mapreduce.map.log.level` lub `mapreduce.reduce.log.level`. Poniższa instrukcja pokazuje, jak ustawić właściwość dla mappera, aby zobaczyć w dzienniku wartości z etapu mapowania.

```
% hadoop jar hadoop-examples.jar LoggingDriver -conf conf/hadoop-cluster.xml \
  -D mapreduce.map.log.level=DEBUG input/ncdc/sample.txt logging-out
```

Istnieją narzędzia do zmiany czasu przechowywania i wielkości dzienników operacji. Domyślnie dzienniki są usuwane po upływie przynajmniej trzech godzin (tę wartość można ustawić za pomocą właściwości `yarn.nodemanager.log.retain-seconds`, choć jest ona ignorowana, jeśli włączone jest agregowanie dzienników). Można też ustawić limit maksymalnej wielkości każdego dziennika. Służy do tego właściwość `mapreduce.task.userlog.limit.kb`. Jej wartość domyślna, `0`, oznacza brak limitu.

Czasem programista musi zdiagnozować problem, który prawdopodobnie występuje w maszynie JVM uruchamiającej polecenie Hadoopa, a nie w klastrze. Aby przesłać dzienniki z poziomu `DEBUG` do konsoli, należy użyć instrukcji takiej jak poniżej.

```
% HADOOP_ROOT_LOGGER=DEBUG,console hadoop fs -text /foo/bar
```

Zdalne diagnozowanie

Gdy operacja kończy się niepowodzeniem i zarejestrowanych jest za mało informacji, aby można było zdiagnozować problem, można uruchomić debuger dla danej operacji. Trudno jest to zrobić, jeśli zadanie działa w klastrze. Nie wiadomo wtedy, które węzły będą przetwarzać poszczególne fragmenty danych wejściowych, dlatego nie można przygotować debugera przed wystąpieniem awarii. Istnieje jednak kilka rozwiązań.

Odtworzenie awarii lokalnie

W operacjach problemy często występują dla określonych danych wejściowych. Można spróbować odtworzyć problem lokalnie, pobierając plik, dla którego operacja kończy się niepowodzeniem, i uruchamiając zadanie lokalnie (na przykład za pomocą debugera VisualVM Javy).

Użycie opcji diagnostycznych maszyny JVM

Częstym powodem awarii jest błąd braku pamięci z Javy występujący w maszynie JVM operacji. Możesz dodać do elementu `mapred.child.java.opts` ustawienie `-XX:-HeapDumpOnOutOfMemoryError -XX:HeapDumpPath=/`*`ścieżka/do/zrzutów`*. Generuje ono zrzut sterty, który można potem przeanalizować za pomocą takich narzędzi jak *jhat* lub Eclipse Memory Analyzer. Zauważ, że opcje maszyny JVM należy dodać do istniejących ustawień pamięci określonych w elemencie `mapred.child.java.opts`. Szczegółowe omówienie ustawień znajdziesz w punkcie „Ustawienia pamięci w systemie YARN i modelu MapReduce” w rozdziale 10.

Przeprowadzenie profilowania operacji

Profilery Javy pozwalają dobrze przyjrzeć się pracy maszyny JVM, a Hadoop udostępnia mechanizm profilowania podzbioru operacji z zadania. Zobacz punkt „Profilowanie operacji”.

W niektórych sytuacjach warto przechowywać pliki pośrednie z nieudanych prób wykonania operacji w celu ich późniejszej analizy (zwłaszcza jeśli w katalogu roboczym operacji generowane są pomocnicze pliki zrzutu lub profilowania). Aby zachowywać takie pliki, ustaw właściwość `mapreduce.task.files.preserve.failedtasks` na wartość `true`.

Pośrednie pliki można zachowywać także dla operacji zakończonych powodzeniem. Jest to przydatne, jeśli chcesz zbadać operację, która nie powoduje awarii. Wtedy do właściwości `mapreduce.task.files.`
`↪preserve.filepattern` należy przypisać wyrażenie regularne pasujące do identyfikatorów operacji, których pliki chcesz zachować.

Inną właściwością przydatną w kontekście diagnozowania jest `yarn.nodemanager.delete.debug-delay-sec`. Określa ona liczbę sekund oczekiwania na usunięcie określonych plików prób wykonania operacji (na przykład skryptu używanego do uruchamiania maszyny JVM dla kontenera operacji). Jeśli ta właściwość jest ustawiona w klastrze na wystarczająco wysoką wartość (na przykład `600`, co oznacza 10 minut), programista zapewnia sobie wystarczającą ilość czasu na zapoznanie się z plikami przed ich usunięciem.

Aby zbadać pliki prób wykonania operacji, przejdź do węzła, w którym operacja zakończyła się niepowodzeniem, i poszukaj katalogu dla danej próby. Znajduje się on w jednym z lokalnych katalogów modelu MapReduce zgodnie z ustawieniami właściwości `mapreduce.cluster.local.dir` (opisanej szczegółowo w punkcie „Ważne właściwości demonów Hadoopa” w rozdziale 10.). Jeśli

do właściwości przypisana jest lista rozdzielonych przecinkami katalogów (co pozwala rozdzielić obciążenie między fizyczne dyski maszyny), znalezienie folderu dla konkretnej próby wykonania operacji może wymagać sprawdzenia wszystkich tych katalogów. Katalog próby wykonania operacji znajduje się w następującym miejscu:

```
lokalny.katalog.klastra.modelu.mapreduce/usercache/użytkownik/appcache/
ID-aplikacji/output/ID-próby-wykonania
```

Dostrajanie zadania

Gdy zadanie już działa, programista może zacząć się zastanawiać, czy da się je wykonywać szybciej.

Istnieje kilku specyficznych dla Hadoopa „podejrzanych", dla których warto sprawdzić, czy nie powodują problemów z wydajnością. Przejdź przez listę z tabeli 6.3, zanim zajmiesz się profilowaniem lub optymalizowaniem kodu na poziomie operacji.

Tabela 6.3. Lista kontrolna z obszaru dostrajania

Obszar	Zalecana praktyka	Dodatkowe informacje
Liczba mapperów	Jak długo działają mappery? Jeśli średnio jest to tylko kilka sekund, sprawdź, czy nie można używać mniejszej liczby mapperów, które pracują dłużej (około minuty). To, czy jest to możliwe, zależy od formatu danych wejściowych.	„Małe pliki i format CombineFileInputFormat" w rozdziale 8.
Liczba reduktorów	Sprawdź, czy używasz więcej niż jednego reduktora. Zgodnie z ogólną regułą operacje redukcji powinny działać około pięciu minut i generować przynajmniej blok danych.	„Określanie liczby reduktorów" w rozdziale 8.
Mechanizmy łączenia	Sprawdź, czy w zadaniu można wykorzystać mechanizm łączenia do ograniczenia ilości danych w fazie przestawiania.	„Funkcje łączące" w rozdziale 2.
Kompresja danych pośrednich	Czas wykonywania zadania prawie zawsze skraca się dzięki włączeniu kompresji danych wyjściowych z etapu mapowania.	„Kompresja danych wyjściowych z etapu mapowania" w rozdziale 5.
Niestandardowa serializacja	Jeśli używasz niestandardowych obiektów typu `Writable` lub niestandardowych komparatorów, upewnij się, że zaimplementowałeś interfejs `RawComparator`.	„Implementowanie interfejsu RawComparator z myślą o szybkości" w rozdziale 5.
Dostrajanie etapu przestawiania	Przestawianie w modelu MapReduce udostępnia kilkanaście parametrów służących do dostrajania zarządzania pamięcią. Mogą one pomóc w jeszcze większej poprawie wydajności.	„Dostrajanie konfiguracji" w rozdziale 7.

Profilowanie operacji

Profilowanie (podobnie jak diagnozowanie) zadań działających w systemie rozproszonym, na przykład w modelu MapReduce, związane jest z pewnymi trudnościami. Hadoop umożliwia profilowanie niektórych operacji z zadania i po zakończeniu każdej z nich pobiera zebrane informacje na komputer programisty w celu ich późniejszych analiz z użyciem standardowych narzędzi przeznaczonych do profilowania.

Oczywiście możliwe i łatwiejsze jest profilowanie zadania uruchomionego za pomocą lokalnego mechanizmu wykonywania zadań. Jeśli masz wystarczającą ilość danych wejściowych, by zbadać operacje mapowania i redukowania, jest to wartościowy sposób na poprawę wydajności mapperów

i reduktorów. Należy jednak pamiętać o kilku zastrzeżeniach. Lokalny mechanizm wykonywania zadań to bardzo odmienne środowisko od klastra, ze zdecydowanie innymi wzorcami przepływu danych. Optymalizowanie wydajności kodu z uwzględnieniem obciążenia procesora może okazać się bezcelowe, jeśli dane zadanie w modelu MapReduce jest ograniczone wydajnością operacji wejścia-wyjścia (co jest prawdą w wielu zadaniach). Aby mieć pewność, że dostrajanie jest skuteczne, należy porównać nowy czas wykonania z dawnym w klastrze. Jednak nie jest to łatwe, ponieważ czas wykonania może się znacznie wahać z powodu współzawodnictwa o zasoby z innymi zadaniami oraz podejmowanych przez program szeregujący decyzji dotyczących lokalizacji operacji. Aby rzetelnie oszacować czas wykonywania zadania w takich warunkach, uruchom je wielokrotnie (przed zmianą i po niej) oraz sprawdź, czy poprawa jest istotna statystycznie.

Niestety, niektóre problemy (na przykład nadmierne wykorzystanie pamięci) można zreprodukować tylko w klastrze. W takich sytuacjach możliwość profilowania zadania w klastrze jest niezbędna.

Profiler HPROF

Istnieje kilka właściwości konfiguracyjnych kontrolujących profilowanie. Można je ustawić także za pomocą metod pomocniczych z klasy `JobConf`. Aby włączyć profilowanie, wystarczy ustawić właściwość `mapreduce.task.profile` na wartość `true`.

```
% hadoop jar hadoop-examples.jar v4.MaxTemperatureDriver \
  -conf conf/hadoop-cluster.xml \
  -D mapreduce.task.profile=true \
  input/ncdc/all max-temp
```

Ta instrukcja powoduje standardowe rozpoczęcie pracy zadania, przy czym dodaje parametr `-agentlib` do polecenia Javy używanego do uruchamiania kontenerów operacji w menedżerach węzłów. Dodawany parametr można ustawić we właściwości `mapreduce.task.profile.params`. Domyślnie używany jest profiler HPROF. Jest to narzędzie do profilowania dostępne razem z platformą JDK. Jest ono proste, ale udostępnia wartościowe informacje na temat użytkowania procesora i sterty przez program.

Profilowanie wszystkich operacji zadania zwykle nie ma sensu. Dlatego domyślnie uwzględniane są tylko operacje mapowania i redukowania o identyfikatorach 0, 1 i 2. Aby to zmienić, użyj właściwości `mapreduce.task.profile.maps` i `mapreduce.task.profile.reduces` do określenia zakresu identyfikatorów profilowanych operacji.

Uzyskane w trakcie profilowania każdej operacji dane wyjściowe są zapisywane razem z dziennikami w podkatalogu *userlogs* lokalnego katalogu dzienników menedżera węzła (razem z plikami *syslog*, *stdout* i *stderr*). Można je pobrać w sposób opisany w punkcie „Dzienniki w Hadoopie” i zależny od tego, czy agregacja dzienników jest włączona, czy nie.

Przepływ pracy w modelu MapReduce

Zobaczyłeś już, jak napisać program działający w modelu MapReduce. Jednak nie opisano jeszcze, jak przekształcić problem z obszaru przetwarzania danych na postać zgodną z modelem MapReduce.

Do tego miejsca przetwarzanie danych dotyczyło stosunkowo prostego problemu — znajdowania maksymalnej temperatury zarejestrowanej w poszczególnych latach. Gdy przetwarzanie staje się bardziej skomplikowane, zwykle przejawia się to większą liczbą zadań w modelu MapReduce, a nie bardziej złożonymi funkcjami mapującymi lub redukującymi. Tak więc zgodnie z ogólną regułą programista powinien myśleć o dodaniu *większej liczby* zadań, a nie o dodaniu złożoności *do* zadań.

Dla bardziej skomplikowanych problemów warto rozważyć mechanizm wyższego poziomu niż model MapReduce — na przykład system Pig, Hive, Cascading, Crunch lub Spark. Oczywistą zaletą takiego podejścia jest to, że nie trzeba przekształcać problemu na zadania w modelu MapReduce. Pozwala to skoncentrować się na przeprowadzanych analizach.

Książka *Data-Intensive Text Processing with MapReduce* Jimmy'ego Lina i Chrisa Dyera (Morgan & Claypool Publishers, 2010) to doskonała pozycja pozwalająca lepiej poznać projekt algorytmu MapReduce. Gorąco zachęcamy do jej lektury.

Rozbijanie problemu na zadania w modelu MapReduce

Przyjrzyj się teraz bardziej skomplikowanemu problemowi przekładanemu na przepływ pracy w modelu MapReduce.

Załóżmy, że programista chce znaleźć średnią maksymalną temperaturę zarejestrowaną dla każdego dnia roku w każdej stacji meteorologicznej. Aby wyznaczyć średnią maksymalną temperaturą odnotowaną w stacji 029070-999999 w dniu 1 stycznia, należy obliczyć średnią z maksymalnych temperatur zarejestrowanych w tej stacji 1 stycznia 1901 roku, 1 stycznia 1902 roku itd. aż do 1 stycznia 2000 roku.

Jak to zrobić za pomocą modelu MapReduce? Najbardziej naturalny jest podział obliczeń na dwa opisane poniżej etapy.

1. *Obliczenie maksymalnej dziennej temperatury dla każdej pary stacja-data.*

   Ten program w modelu MapReduce jest odmianą programu obliczającego maksymalną temperaturę, przy czym tu klucze to pary stacja-data, a nie sam rok.

2. *Obliczenie średniej z maksymalnych dziennych temperatur dla każdego klucza stacja-dzień-miesiąc.*

   Mapper przyjmuje wyjściowe rekordy z poprzedniego zadania (stacja-data, maksymalna temperatura) i przekształca je na rekordy (stacja-dzień-miesiąc, maksymalna temperatura), usuwając komponent reprezentujący rok. Funkcja redukująca określa średnią z maksymalnych temperatur dla każdego klucza stacja-dzień-miesiąc.

Otrzymane w pierwszym etapie dane wyjściowe dla analizowanych stacji wyglądają tak (skrypt *mean_max_daily_temp.sh* z przykładowym kodem zawiera implementację opartą na narzędziu Hadoop Streaming):

```
029070-99999 19010101 0
029070-99999 19020101 -94
...
```

Dwa pierwsze pola tworzą klucz. Ostatnia kolumna określa maksymalną temperaturę z wszystkich odczytów dla danej stacji i daty. Na drugim etapie dzienne maksima są uśredniane dla wszystkich lat. Oto efekt:

```
029070-99999 0101 -68
```

Oznacza to, że średnia maksymalnych dziennych temperatur 1 stycznia w stacji 029070-99999 dla ubiegłego wieku wynosi –6,8°C.

Te obliczenia można wykonać w jednym etapie modelu MapReduce, co jednak wymaga od programisty więcej pracy[2].

Argumentem na rzecz większej liczby (ale prostszych) etapów w modelu MapReduce jest to, że pozwala to budować łatwiejsze w łączeniu i konserwacji mappery oraz reduktory. W kilku studiach przypadków z części V opisano praktyczne problemy rozwiązane za pomocą modelu MapReduce. Przetwarzanie danych w każdym z tych przykładów jest zaimplementowane za pomocą dwóch lub więcej zadań w modelu MapReduce. Informacje z niniejszego rozdziału są nieocenioną pomocą, jeśli chcesz lepiej zrozumieć przekształcanie problemów na przepływ pracy w modelu MapReduce.

Funkcje mapująca i redukująca mogą być jeszcze łatwiejsze w łączeniu niż w przykładowym kodzie. Mapper często odpowiada za parsowanie danych w wejściowym formacie, projekcję (wybór odpowiednich pól) i filtrowanie (usuwanie zbędnych rekordów). W przedstawionym do tego miejsca kodzie wszystkie te czynności wykonuje jeden mapper. Można jednak rozdzielić je między odrębne mappery połączone w łańcuch za pomocą klasy bibliotecznej `ChainMapper` z Hadoopa. Dodatkowo można zastosować klasę `ChainReducer` i uruchomić w jednym zadaniu w modelu MapReduce łańcuch mapperów, po którym działa reduktor, a następnie inny łańcuch mapperów.

JobControl

Gdy w przepływie pracy w modelu MapReduce występuje więcej niż jedno zadanie, trzeba zastanowić się nad tym, jak zarządzać zadaniami, by były wykonywane w odpowiedniej kolejności. Istnieje kilka rozwiązań. Najważniejszym czynnikiem przy ich wyborze jest to, czy łańcuch zadań jest liniowy, czy tworzy bardziej skomplikowany skierowany graf acykliczny.

Gdy łańcuch jest liniowy, najprostsze podejście polega na uruchamianiu zadań jedno po drugim. Przed uruchomieniem następnego zadania należy poczekać na udane ukończenie poprzedniego.

```
JobClient.runJob(conf1);
JobClient.runJob(conf2);
```

Jeśli zadanie zakończy się niepowodzeniem, metoda `runJob()` zgłosi wyjątek `IOException`, a dalsze zadania z potoku nie zostaną wykonane. W niektórych aplikacjach można przechwytywać ten wyjątek i zerować dane pośrednie wygenerowane przez wcześniejsze zadania.

W nowym interfejsie API modelu MapReduce rozwiązanie wygląda podobnie. Trzeba jednak sprawdzić wartość logiczną zwracaną przez metodę `waitForCompletion()` klasy `Job`. Wartość `true` oznacza, że zadanie zakończyło się powodzeniem, a wartość `false` oznacza błąd.

[2] Jest to ciekawe ćwiczenie. Oto wskazówka — wykorzystaj informacje z punktu „Sortowanie pomocnicze” w rozdziale 9.

Gdy łańcuch jest bardziej skomplikowany, można wykorzystać biblioteki pomagające w zarządzaniu przepływem pracy (działają one także dla łańcuchów liniowych, a nawet jednorazowych zadań). Najprostszym narzędziem tego typu jest klasa `JobControl` z pakietu `org.apache.hadoop.mapreduce.jobcontrol`. Dostępna jest też analogiczna klasa w pakiecie `org.apache.hadoop.mapred.jobcontrol`. Obiekt klasy `JobControl` reprezentuje graf zadań do wykonania. Należy podać konfigurację zadań, a następnie poinformować obiekt o zależnościach między zadaniami. Obiekt klasy `JobControl` działa w wątku i uruchamia zadania zgodnie z kolejnością wyznaczaną przez zależności. Można sprawdzać postęp w wykonywaniu zadań, a po ich ukończeniu — sprawdzić status każdego zadania i błędy informujące o niepowodzeniu. Jeżeli zadanie zakończy się błędem, obiekt klasy `JobControl` nie uruchomi powiązanych zadań.

Apache Oozie

Apache Oozie to system uruchamiania przepływu pracy z powiązanymi zadaniami. Obejmuje dwie główne części: **silnik przepływu pracy** (przechowuje i uruchamia przepływy pracy obejmujące różnego rodzaju zadania Hadoopa; mogą to być zadania z technologii MapReduce, Pig, Hive itd.) i **silnik koordynatora** (uruchamia zadania z przepływu pracy na podstawie wstępnie zdefiniowanych harmonogramów i dostępności danych). System Oozie jest zaprojektowany z myślą o skalowaniu i potrafi zarządzać wykonywaniem w klastrze Hadoopa tysięcy przepływów pracy, z których każdy może obejmować dziesiątki zadań.

Oozie ułatwia ponowne wykonywanie przepływów pracy zakończonych niepowodzeniem, ponieważ nie trzeba marnować czasu na powtarzanie poprawnie ukończonych fragmentów przepływu pracy. Każdy, kto zarządzał skomplikowanym systemem wsadowym, wie, jak trudne jest wznawianie pracy na poziomie zadań nieukończonych z powodu błędu lub przestoju maszyny. Wszystkie te osoby docenią wspomniany mechanizm. Ponadto zarządzane przez koordynatora aplikacje tworzące jeden potok danych można umieścić w *pakiecie* i uruchamiać jako połączoną jednostkę.

System Oozie (w odróżnieniu od klasy `JobControl`, która pracuje na maszynie klienckiej przesyłającej zadania) działa jako usługa w klastrze. Klienty przesyłają do niej definicje przepływu pracy w celu natychmiastowego lub późniejszego uruchomienia zadań. W systemie Oozie przepływ pracy to skierowany graf acykliczny **węzłów akcji** i **węzłów sterowania przepływem**.

Węzeł akcji wykonuje operacje z przepływu pracy takie jak: przeniesienie plików w systemie HDFS, uruchomienie zadania w technologii MapReduce, Streaming, Pig lub Hive, zaimportowanie danych w narzędziu Sqoop lub uruchomienie dowolnego skryptu powłoki albo programu w Javie. Węzeł sterowania przepływu zarządza przepływem pracy pomiędzy akcjami i obsługuje logikę warunkową (pozwala to wybierać różne gałęzie programu na podstawie wyników z wcześniejszego węzła akcji) oraz równoległe wykonywanie kodu. Po zakończeniu przepływu pracy system Oozie może skierować wywołanie zwrotne HTTP do klienta, by poinformować go o statusie przepływu pracy. Ponadto można przyjmować wywołania zwrotne za każdym razem, gdy przepływ pracy wchodzi do węzła akcji lub z niego wychodzi.

Definiowanie przepływu pracy w systemie Oozie

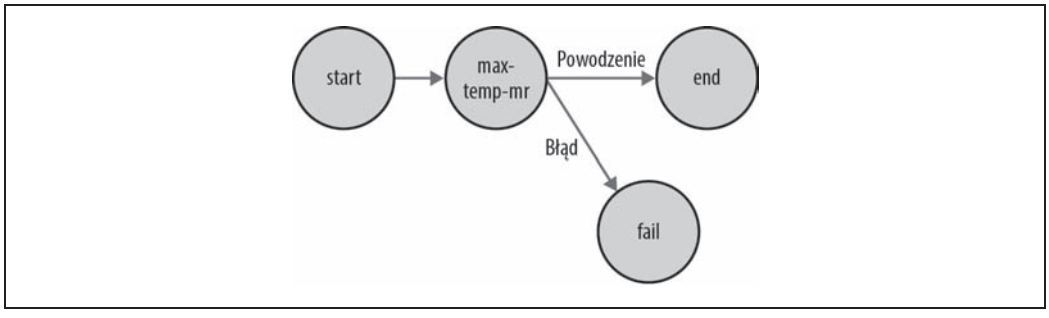
Definicje przepływu pracy są pisane w XML-u przy użyciu języka Hadoop Process Definition Language (jego specyfikację znajdziesz w witrynie projektu Oozie — *http://oozie.apache.org/*). Listing 6.14 przedstawia prostą definicję przepływu pracy z systemu Oozie przeznaczoną do uruchamiania jednego zadania w modelu MapReduce.

Listing 6.14. Definicja przepływu pracy z systemu Oozie służąca do uruchamiania zadania w modelu MapReduce wyznaczającego maksymalną temperaturę

```
<workflow-app xmlns="uri:oozie:workflow:0.1" name="max-temp-workflow">
  <start to="max-temp-mr"/>
  <action name="max-temp-mr">
    <map-reduce>
      <job-tracker>${resourceManager}</job-tracker>
      <name-node>${nameNode}</name-node>
      <prepare>
        <delete path="${nameNode}/user/${wf:user()}/output"/>
      </prepare>
      <configuration>
        <property>
          <name>mapred.mapper.new-api</name>
          <value>true</value>
        </property>
        <property>
          <name>mapred.reducer.new-api</name>
          <value>true</value>
        </property>
        <property>
          <name>mapreduce.job.map.class</name>
          <value>MaxTemperatureMapper</value>
        </property>
        <property>
          <name>mapreduce.job.combine.class</name>
          <value>MaxTemperatureReducer</value>
        </property>
        <property>
          <name>mapreduce.job.reduce.class</name>
          <value>MaxTemperatureReducer</value>
        </property>
        <property>
          <name>mapreduce.job.output.key.class</name>
          <value>org.apache.hadoop.io.Text</value>
        </property>
        <property>
          <name>mapreduce.job.output.value.class</name>
          <value>org.apache.hadoop.io.IntWritable</value>
        </property>
        <property>
          <name>mapreduce.input.fileinputformat.inputdir</name>
          <value>/user/${wf:user()}/input/ncdc/micro</value>
        </property>
        <property>
          <name>mapreduce.output.fileoutputformat.outputdir</name>
          <value>/user/${wf:user()}/output</value>
        </property>
      </configuration>
    </map-reduce>
    <ok to="end"/>
    <error to="fail"/>
  </action>
```

```
  <kill name="fail">
    <message>Błąd zadania w modelu MapReduce.
             Komunikat o błędzie[${wf:errorMessage(wf:lastErrorNode())}]
    </message>
  </kill>
  <end name="end"/>
</workflow-app>
```

Ten przepływ pracy obejmuje trzy węzły sterowania przepływem (`start`, `kill` i `end`) i jeden węzeł akcji (`map-reduce`). Węzły i dozwolone przejścia między nimi są pokazane na rysunku 6.4.



Rysunek 6.4. Diagram przejść w przepływie pracy w systemie Oozie

Wszystkie przepływy pracy muszą mieć jeden węzeł `start` i jeden węzeł `end`. Gdy zadanie w przepływie pracy rozpoczyna działanie, przechodzi do węzła wskazanego w węźle `start` (tu węzłem docelowym jest węzeł akcji `max-temp-mr`). Zadanie w przepływie pracy z powodzeniem kończy działanie, gdy dochodzi do węzła `end`. Jeśli jednak nastąpi przejście do węzła `kill`, jest to uznawane za niepowodzenie. Program zwraca wtedy odpowiedni komunikat o błędzie ustawiony w elemencie `message` w definicji przepływu pracy.

Dużą część tego pliku definicji przepływu pracy zajmuje opis akcji `map-reduce`. Dwa pierwsze elementy, `job-tracker` i `name-node`, określają menedżer zasobów systemu YARN (lub jobtracker w Hadoopie 1), do którego należy przesyłać zadanie, oraz węzeł nazw (jako identyfikator URI z systemu plików Hadoopa) dla danych wejściowych i wyjściowych. Oba elementy są podawane za pomocą parametrów, dzięki czemu ta definicja przepływu pracy nie jest powiązana z żadnym konkretnym klastrem, co pozwala na jej łatwe testowanie. Parametry są podawane jako właściwości zadania z przepływu pracy w momencie jego przesyłania, co zobaczysz dalej.

Element `job-tracker` ma mylącą nazwę i w rzeczywistości służy do określania adresu i portu menedżera zasobów z systemu YARN.

Opcjonalny element `prepare` określa czynności wykonywane przed danym zadaniem w modelu MapReduce i służy na przykład do usuwania katalogów (oraz ich tworzenia, jeśli jest to konieczne, choć tu kod tego nie robi). Dzięki upewnieniu się przed uruchomieniem zadania, że katalog wyjściowy pozostaje w spójnym stanie, system Oozie może bezpiecznie ponownie wykonać akcję, jeśli zadanie zakończy się niepowodzeniem.

Zadanie w modelu MapReduce jest wskazywane w elemencie `configuration` przy użyciu zagnieżdżonych elementów określających pary nazwa-wartość z konfiguracji Hadoopa. Sekcję z konfiguracją modelu MapReduce możesz traktować jak deklaratywny zastępnik klas sterowników używanych do uruchamiania programów w modelu MapReduce w innych miejscach książki (na przykład na listingu 2.5).

W kilku miejscach definicji przepływu pracy wykorzystano składnię języka JSP Expression Language (EL). System Oozie udostępnia zestaw funkcji przeznaczonych do interakcji z przepływem pracy. Na przykład funkcja `${wf:user()}` zwraca nazwę użytkownika, który uruchomił bieżące zadanie z przepływu pracy. Tu funkcja jest używana do określenia odpowiedniej ścieżki w systemie plików. W specyfikacji systemu Oozie znajdziesz listę wszystkich funkcji języka EL obsługiwanych w tym systemie.

Pakowanie i instalowanie aplikacji opartej na przepływie pracy z systemu Oozie

Aplikacja oparta na przepływie pracy obejmuje definicję przepływu pracy oraz wszystkie powiązane zasoby (pliki JAR dla modelu MapReduce, skrypty systemu Pig itd.) potrzebne do jej wykonania. Takie aplikacje muszą mieć określoną prostą strukturę katalogów i trzeba je umieścić w systemie HDFS, tak by system Oozie miał do nich dostęp. W omawianej aplikacji wszystkie pliki znajdują się w głównym katalogu *max-temp-workflow*, co pokazano na poniższym schemacie.

```
max-temp-workflow/
    lib/
        hadoop-examples.jar
    workflow.xml
```

Plik z definicją przepływu pracy, *workflow.xml*, musi znajdować się na najwyższym poziomie hierarchii. Pliki Jar z klasami aplikacji dla modelu MapReduce są umieszczone w katalogu *lib*.

Oparte na przepływie pracy aplikacje o tym układzie można zbudować za pomocą różnych narzędzi do obsługi budowania (na przykład przy użyciu Anta lub Mavena). Przykłady znajdziesz w kodzie dołączonym do tej książki. Po zbudowaniu aplikacji należy ją skopiować do systemu HDFS za pomocą standardowych narzędzi Hadoopa. Oto polecenie odpowiednie dla omawianej aplikacji:

```
% hadoop fs -put hadoop-examples/target/max-temp-workflow max-temp-workflow
```

Uruchamianie zadań z przepływu pracy w systemie Oozie

Zobacz teraz, jak uruchomić zadanie z przepływu pracy z wczytanej właśnie do systemu aplikacji. Posłuży do tego uruchamiane z poziomu wiersza poleceń narzędzie *oozie*. Jest to program kliencki przeznaczony do komunikowania się z serwerem systemu Oozie. Dla wygody eksportowana jest zmienna środowiskowa `OOZIE_URL`, informująca polecenie `oozie` o tym, który serwer systemu Oozie należy wybrać (tu używany jest serwer lokalny).

```
% export OOZIE_URL="http://localhost:11000/oozie"
```

Narzędzie *oozie* udostępnia wiele poleceń podrzędnych (ich listę zobaczysz po wpisaniu instrukcji `oozie help`). Tu używane jest polecenie podrzędne `job` z opcją `-run`, które uruchamia zadanie z przepływu pracy.

```
% oozie job -config ch06-mr-dev/src/main/resources/max-temp-workflow.properties \
  -run
job: 0000001-140911033236814-oozie-oozi-W
```

Opcja `-config` określa lokalny plik z właściwościami Javy, w którym znajdują się definicje parametrów używanych w pliku XML z przepływem pracy (tu są to parametry `nameNode` i `resourceManager`) oraz ścieżka `oozie.wf.application.path`, informująca system Oozie o lokalizacji opartej na przepływie pracy aplikacji w systemie HDFS. Oto zawartość pliku z właściwościami.

```
nameNode=hdfs://localhost:8020
resourceManager=localhost:8032
oozie.wf.application.path=${nameNode}/user/${user.name}/max-temp-workflow
```

W celu uzyskania informacji o statusie zadania z przepływu pracy należy użyć opcji `-info` i podać identyfikator zadania wyświetlony wcześniej przez polecenie `run` (w celu wyświetlenia listy wszystkich zadań wpisz instrukcję `oozie job`).

```
% oozie job -info 0000001-140911033236814-oozie-oozi-W
```

Dane wyjściowe pokazują status zadań: `RUNNING`, `KILLED` lub `SUCCEEDED`. Wszystkie informacje można też znaleźć za pomocą sieciowego interfejsu użytkownika systemu Oozie (*http://localhost:11000/oozie*).

Po zakończeniu wykonywania zadania można sprawdzić wyniki w standardowy sposób.

```
% hadoop fs -cat output/part-*
1949 111
1950 22
```

Ten przykład pokazuje tylko niewielką część możliwości związanych z pisaniem przepływów pracy w systemie Oozie. W dokumentacji w witrynie tego systemu znajdziesz informacje o tworzeniu bardziej skomplikowanych przepływów pracy, a także o pisaniu i uruchamianiu zadań koordynatora.

Skorowidz

G

H

I

J

K

L

Ł

M

N

O

P

R

S

Ś

T

U

W

X

Y

Z

Ź

Ż

O'REILLY®

Analiza danych z Hadoopem — i wszystko staje się prostsze!

Platforma Apache Hadoop to jedno z zaawansowanych narzędzi informatycznych. Dzięki niej można przeprowadzać różne operacje na dużych ilościach danych i znacznie skrócić czas wykonywania tych działań. Wszędzie tam, gdzie potrzebne jest szybkie sortowanie, obliczanie i archiwizowanie danych – np. w dużych międzynarodowych sklepach internetowych, serwisach społecznościowych lub wyszukiwarkach, takich jak Amazon, Facebook, Yahoo!, Apache Hadoop sprawdza się znakomicie. Jeśli potrzebne Ci narzędzie do poważnej analizy dużych zbiorów danych, nie znajdziesz lepszego rozwiązania!

Tę książkę napisał wytrawny znawca i współtwórca Hadoopa. Przedstawia w niej wszystkie istotne mechanizmy działania platformy i pokazuje, jak efektywnie jej używać. Dowiesz się stąd, do czego służą model MapReduce oraz systemy HDFS i YARN. Nauczysz się budować aplikacje oraz klastry. Poznasz dwa formaty danych, a także wykorzystasz narzędzia do ich pobierania i transferu. Sprawdzisz, jak wysokopoziomowe narzędzia do przetwarzania danych współdziałają z Hadoopem. Zorientujesz się, jak działa rozproszona baza danych i jak zarządzać konfiguracją w środowisku rozproszonym. Przeczytasz również o nowinkach w Hadoopie 2 i prześledzisz studia przypadków ilustrujące rolę tej platformy w systemach służby zdrowia i przy przetwarzaniu danych o genomie.

Tom White – jeden z czołowych ekspertów w zakresie obsługi platformy Hadoop. Członek Apache Software Foundation, inżynier oprogramowania w firmie Cloudera.

Przeczytaj i poznaj:

- Hadoop i model MapReduce
- Systemy HDFS i YARN
- Avro, Parquet, Flume i Sqoop – metody pracy z danymi
- Pig, Hive, Crunch i Spark – wysokopoziomowe narzędzia do przetwarzania danych

ISBN 978-83-283-1457-3

9 788328 314573

cena: 89,00 zł