

实验三：KMeans&Spark分布式实践

Design by W.H Huang | Direct by Prof Feng

1 实验目的

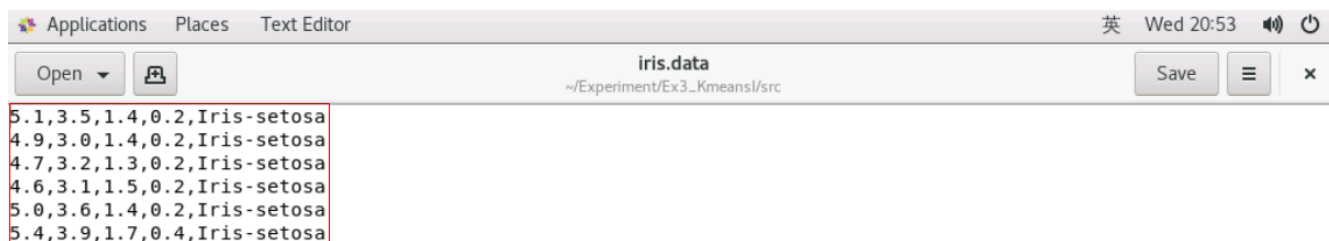
通过本次实验，你应该：

- 熟悉基于 spark 分布式编程环境
- 掌握 HDFS 分布式文件系统基本操作
- 掌握 KMeans 聚类算法以及了解 matplotlib 可视化工具

本次实验你将使用鸢尾花 Iris 数据集完成本次 KMeans 聚类实验，将相同亚种类型的鸢尾花聚类为一个簇。

相关数据集来源于：[iris数据集官网下载](#)

Iris 数据的样本容量为 150，有四个实数值的特征，分别代表花朵四个部位的尺寸。最后字符串为该样本对应鸢尾花的亚种类型。如下图所示：



实验二 中已将所有实验上传到服务器，Iris 数据集在 /usr/local/Experiment/Ex3_KmeansI/src/iris.data

下，你现在可以在服务器上进行查看。

1.1 Kmeans 算法

算法流程

假设输入样本集 $D = x_1, x_2, \dots, x_m$ ，聚类簇数为 K ，最大迭代次数为 N 。输出的簇划分为 $C = C_1, C_2, \dots, C_m$ 。

- 从数据集 D 中随机选择 K 个样本作为初始的质心向量 $\mu = \{\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_k\}$ 。
- 迭代 $n = 1, 2, \dots, N$ 。
 - 划分初始化簇 $C_t = \emptyset; t = 1, 2, \dots, k$ 。
 - 对于 $i = 1, 2, \dots, m$ ，计算样本 x_i 和各个质心向量 $\mu_j (j = 1, 2, \dots, k)$ 的距离 d_{ij} 。将 x_i 标记为最小的 d_{ij} 所对应的类别 λ_i ，此时更新 $C_{\lambda_i} = C_{\lambda_i} \cup x_i$ 。

$$d_{ij} = \|x_i - \mu_j\|^2$$

- 对于 $j = 1, 2, \dots, k$ ，对 C_j 中所有样本点重新计算新的质心。

$$\mu_j = \frac{1}{|C_j|} \sum_{x \in C_j} x$$

- 如果 K 个质心向量都不再发生变化，则结束迭代。
- 输出 K 个划分簇 C ， $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_k\}$ 。

对于 K-Means 算法，首先要注意 K 值的选择和 K 个初始化质心的选择。

- **K 值选择**：通过计算不同 K 对应损失，选择第一次拐角处 K 作为最佳聚类簇数，详见下
- **质心选择**：本次实验不讨论

相关API

官方 API 文档：org.apache.spark.ml.clustering

现在你需要根据相关提示完成 `iris.py` 与 `kmeans.py` 两个 `py` 文件相关函数编写。

2 实验准备

2.1 安装相关模块

⚠ 本次实验运行在分布式集群下，以下相关模块需要在 `master` 和 `slave` 都进行安装。

- 安装 `matplotlib`

```
sudo pip3 install matplotlib -i https://pypi.tuna.tsinghua.edu.cn/simple
```

2.2 上传 hdfs

😊 `hdfs` 常用相关操作可参考：[hdfs常用操作](#)

`hdfs` 是一个分布式文件系统，现在你将需要在正式实验前将相关数据集上传 `hdfs` 文件系统上。

1. 创建文件夹

```
cd /usr/local/hadoop
./bin/hadoop fs -mkdir -p /ex3/dataset # -p 参数可用于创建多级目录
```

```
./bin/hadoop fs -ls -R / # 查看是否创建成功
```

```
[hadoop@master hadoop]$ ./bin/hadoop fs -ls -R /  
drwxr-xr-x - hadoop supergroup 0 2020-01-28 11:58 /ex  
drwxr-xr-x - hadoop supergroup 0 2020-01-28 13:31 /ex/ex3dataset
```

2. 上传数据集

将本地文件 `iris.data` 上传到 `hdfs://master:9000/ex/ex3dataset/iris.data`。

📖 以下上传的 `hdfs` 路径可简写为: `/ex/ex3dataset`

```
./bin/hadoop fs -put /home/hadoop/Experiment/Ex3_KmeansI/src/iris.data /ex/ex3dataset
```

查看是否上传成功:

```
./bin/hadoop fs -ls -R /
```

```
[hadoop@master hadoop]$ ./bin/hadoop fs -ls -R /  
drwxr-xr-x - hadoop supergroup 0 2020-01-28 11:58 /ex  
drwxr-xr-x - hadoop supergroup 0 2020-01-28 13:31 /ex/ex3dataset  
-rw-r--r-- 3 hadoop supergroup 4551 2020-01-28 13:31 /ex/ex3dataset/iris.data
```

3 完成编码

在实验开始之前, 我们强烈建议你按照以下流程完成实验:

1. **命令行** 下完成代码 **单元测试**
2. 单元测试无误, 将代码填充在相应给出的 `py` 文件函数中
3. `spark-submit` 方式提交代码

😊 如何在命令行下完成单元测试?

1. 启动 `pyspark`

⚠ 本次实验都是在集群环境下, 集群启动 `pyspark` 应该按以下方式:

- 先启动 `Hadoop/Spark` 集群

```
# 启动hadoop集群  
cd /usr/local/hadoop  
sbin/start-all.sh  
# 启动spark集群  
cd /usr/local/spark  
sbin/start-master.sh  
sbin/start-slaves.sh
```

- 启动 `pyspark`

```
bin/pyspark --master spark://master:7077
```

2. 命令行下单元测试

通过命令行下实时交互式体验，来快速测试代码是否正确。

具体实例可参考 `ex2` 中示例。

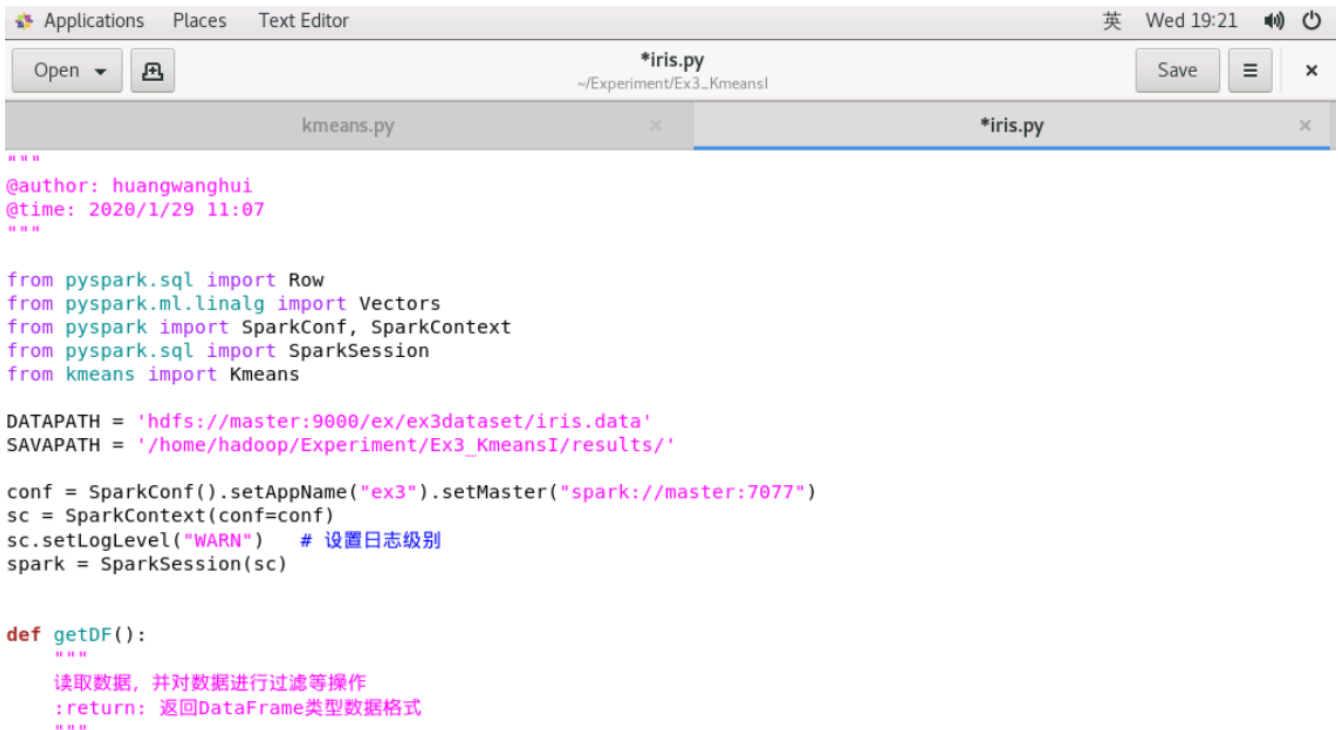
3. 提交代码

在命令行下单元测试后，便可以填写在相应 `py` 文件中。

本次实验通过 `spark-submit` 方式提交代码至 **集群**，请参照实验 3.3.1 部分进行。

3.1 iris.py

`iris.py` 可在服务器路径 `/home/hadoop/Experiment/Ex3_KmeansI/iris.py` 编辑：



```
Applications  Places  Text Editor  英 Wed 19:21  🔊 🔌
Open  📁  *iris.py  ~/Experiment/Ex3_KmeansI  Save  ≡  ✕
kmeans.py  ✕  *iris.py  ✕
"""
@author: huangwanghui
@time: 2020/1/29 11:07
"""

from pyspark.sql import Row
from pyspark.ml.linalg import Vectors
from pyspark import SparkConf, SparkContext
from pyspark.sql import SparkSession
from kmeans import Kmeans

DATAPATH = 'hdfs://master:9000/ex/ex3dataset/iris.data'
SAVAPATH = '/home/hadoop/Experiment/Ex3_KmeansI/results/'

conf = SparkConf().setAppName("ex3").setMaster("spark://master:7077")
sc = SparkContext(conf=conf)
sc.setLogLevel("WARN") # 设置日志级别
spark = SparkSession(sc)

def getDF():
    """
    读取数据，并对数据进行过滤等操作
    :return: 返回DataFrame类型数据格式
    """
```

相关函数及功能如下：

- `getDF`：读取数据，并对数据进行过滤等操作
- `f`：将 RDD 类型每一行转换为 Dense Vector 类型
- `main`：串联整个流程

现在请根据提示，完成相应函数：

```
from pyspark.sql import Row
from pyspark.ml.linalg import Vectors
from pyspark import SparkConf, SparkContext
from pyspark.sql import SparkSession
from kmeans import Kmeans

DATAPATH = 'hdfs://master:9000/ex/ex3dataset/iris.data'
SAVAPATH = '/home/hadoop/Experiment/Ex3_KmeansI/results/'

# 命令行下以下不用设置，已存在相应实例
conf = SparkConf().setAppName("ex3").setMaster("spark://master:7077")
sc = SparkContext(conf=conf)
```

```

sc.setLogLevel("WARN")    # 设置日志级别
spark = SparkSession(sc)

def getDF():
    """
    读取数据，并对数据进行过滤等操作
    :return: 返回DataFrame类型数据格式
    """

    # 读取数据
    # 利用filter操作过滤掉空数据,如: [['1'],['2'],['']] --> [['1'],['2']]
    # 现在你需要【完成以下编码】
    # rawData = sc.textFile(DATAPATH).filter(lambda ele: ele != '')
    rawData = sc.textFile(DATAPATH).filter(lambda ele: )

    # 转换为DataFrame
    # 你应该依次利用SparkRDD操作完成:
    # 1.map 将RDD每一行数据以逗号','分隔
    # 2.map RDD每一行转换为Row

    dataDF = rawData.map(lambda line: )\
                      .map(lambda p: )\
                      .toDF()

    return dataDF

def f(x):
    """
    将x转换为Vector
    :param x: 对应iris.data (RDD) 每一行
    :return:
    """

    rel = {}
    rel['features'] = Vectors.dense(float(x[0]), float(x[1]), float(x[2]), float(x[3]))
    return rel

def main():
    # 1.读取数据
    dataDF = getDF()

    # 2.测试最佳K值，第一次出现明显拐角处便是最佳K值
    km = Kmeans()
    km.searchK(SAVAPATH,dataDF,2,12)    # 查看保存的图片，选择最佳K值

    # 3.打印聚类结果
    km.printResults(dataDF,best_k=3)

if __name__ == "__main__":

    # run code
    main()

```

3.2 kmeans.py

kmeans.py 相关函数及功能如下：

- searchK：计算不同K值对应损失，从而寻找出最佳k值
- printResults：打印最终KMeans 聚类结果

现在请根据提示，完成相应函数：

```
from pyspark.ml.clustering import KMeans
import matplotlib.pyplot as plt

class Kmeans:

    def searchK(self, SAVAPATH, dataDF, k_min, k_max):
        """
        寻找最佳K值
        :param SAVAPATH: 保存结果路径
        :param dataDF: DataFrame类型数据
        :param k_min: 最小k值
        :param k_max: 最大k值
        :return:
        """

        # 计算不同k值对应损失
        k_range = range(k_min, k_max) # 指定k寻找范围
        costs = []
        # 利用pyspark.ml.clustering.kmeans类函数计算损失
        # 1.定义KmeansModel, 对DataFrame类型数据进行整体化处理, 生成带预测簇标签的数据集
        # 2.计算损失
        for k in k_range:
            kmeansModel = KMeans()\
                .setK(k)\
                .setFeaturesCol('features')\
                .setPredictionCol('prediction')\
                .fit(dataDF)

            # 【完成以下编码】计算损失
            costk =
            costs.append(costk)

        # 可视化损失结果
        fig, ax = plt.subplots(1, 1, figsize=(8, 6))
        ax.plot(k_range, costs)
        ax.set_xlabel('k')
        ax.set_ylabel('cost')
        # 保存k-cost结果
        plt.savefig(SAVAPATH + 'k_cost.png')

    def printResults(self, dataDF, best_k, end=50):
        """
        打印聚类结果
        :param dataDF: DataFrame类型数据
        :param best_k: 指定最佳K值
```

```

:param end: 打印多少行
:return:
"""
kmeansModel = KMeans() \
    .setK(best_k) \
    .setFeaturesCol('features') \
    .setPredictionCol('prediction') \
    .fit(dataDF)

# 获取聚类预测结果
# 1.利用pyspark.ml.clustering.KMeans中transform方法得到聚类结果
# 2.利用DataFrame中collect方法转换DataFrame --> python list
# 【现在完成以下编码】

resDF =
resList =
# 打印部分聚类结果
for item in resList[:end]:
    print(str(item[0]) + ' is predicted as cluster' + str(item[1]))

```

3.3 集群运行

3.3.1 集群运行任务

按照以下步骤启动集群运行任务：

1. 启动集群

⚠ 启动集群下 pyspark 已启动集群则略过这步。

启动 hadoop 集群

```

cd /usr/local/hadoop
sbin/start-all.sh

```

启动 spark 集群

```

cd /usr/local/spark
sbin/start-master.sh
sbin/start-slaves.sh

```

2. 上传集群运行任务

提交代码：

```

cd /usr/local/spark
bin/spark-submit --master spark://master:7077 --py-files
/home/hadoop/Experiment/Ex3_KmeansI/kmeans.py --executor-memory 1G
/home/hadoop/Experiment/Ex3_KmeansI/iris.py

```

相关参数及意义：

更多可参考博客：[spark-submit参数](#)

- `--master` : 设置集群的主URL, 用于决定任务提交到何处执行。常见选项:
 - `local` :提交到本地服务器执行, 并分配单个线程
 - `local[k]` :提交到本地服务器执行, 并分配 k 个线程
 - `spark://MASTERHOST:PORT` :提交到 standalone 模式部署的 spark 集群中
- `--class CLASS_NAME` :指定应用程序的类入口, 即主类, 仅针对 java、scala 程序, 不作用于python程序
- `--name NAME` :应用程序的名称
- `--py-files PY_FILES` :逗号隔开的 .zip、.egg、.py 文件, 这些文件会放置在 PYTHONPATH 下, 该参数仅针对 python 应用程序
- `--executor-memory MEM` :每个 executor 的内存, 默认是 1G

3. 运行过程

一切正常, 你将会看到运行过程中打印出聚类结果:

```
20/01/29 17:31:44 WARN BLAS: Failed to load implementation from: com.github.fommil.netlib.NativeRefBLAS
[5.1,3.5,1.4,0.2] is predicted as cluster1
[4.9,3.0,1.4,0.2] is predicted as cluster1
[4.7,3.2,1.3,0.2] is predicted as cluster1
[4.6,3.1,1.5,0.2] is predicted as cluster1
[5.0,3.6,1.4,0.2] is predicted as cluster1
[5.4,3.9,1.7,0.4] is predicted as cluster1
[4.6,3.4,1.4,0.3] is predicted as cluster1
[5.0,3.4,1.5,0.2] is predicted as cluster1
```

4. web UI 查看

Master 服务器输入: `master:8080`, 可查看此前运行的应用进程信息:

Spark Master at spark://master:7077 - Mozilla Firefox

master:8080/cluster

Alive workers: 1
 Cores in use: 1 Total, 0 Used
 Memory in use: 1024.0 MB Total, 0.0 B Used
 Applications: 0 Running, 6 Completed
 Drivers: 0 Running, 0 Completed
 Status: ALIVE

▼ Workers (1)

Worker Id	Address	State	Cores	Memory
worker-20200129163933-172.16.0.4-45226	172.16.0.4:45226	ALIVE	1 (0 Used)	1024.0 MB (0.0 B Used)

▼ Running Applications (0)

Application ID	Name	Cores	Memory per Executor	Submitted Time	User	State	Duration
----------------	------	-------	---------------------	----------------	------	-------	----------

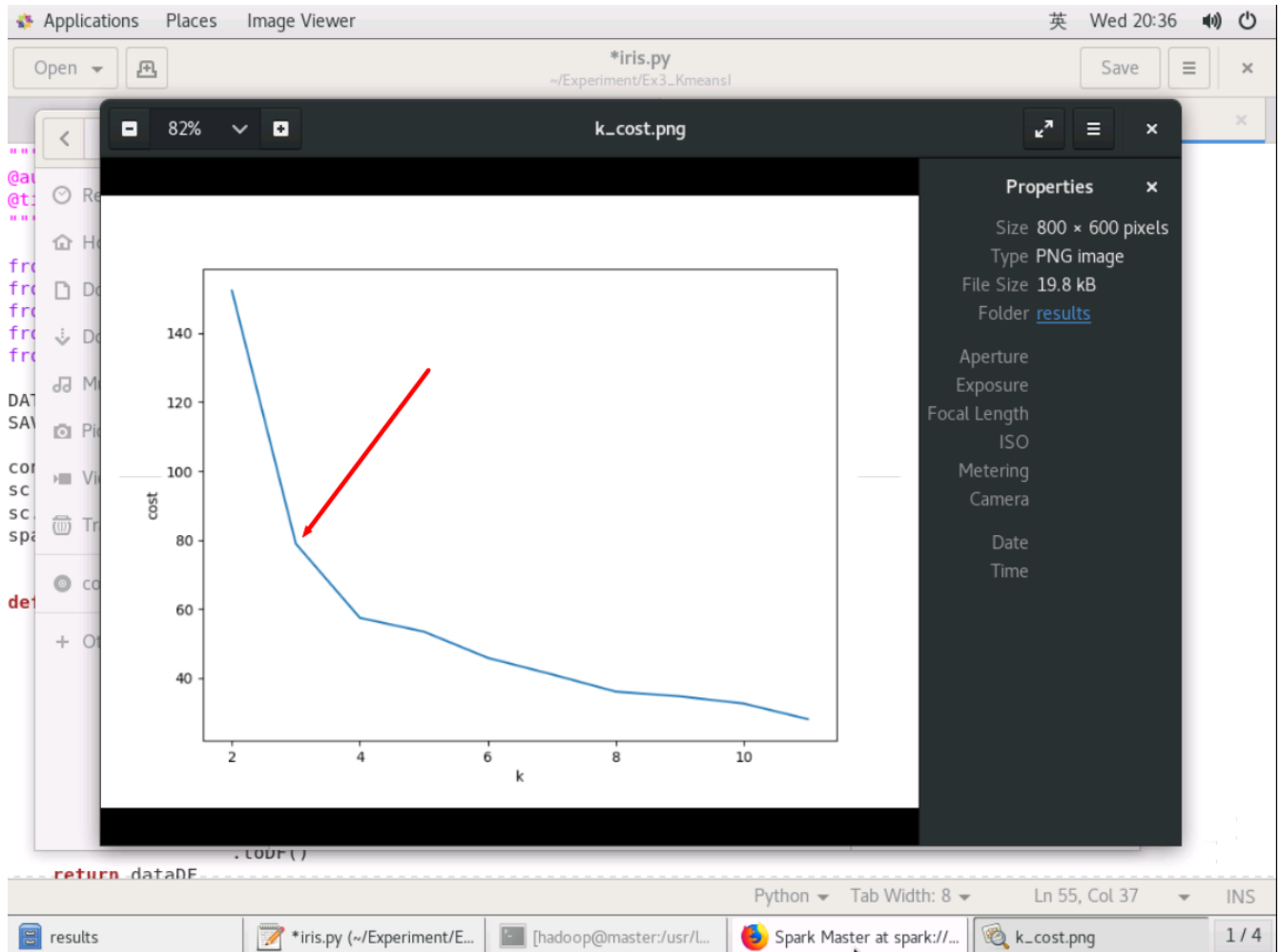
▼ Completed Applications (6)

Application ID	Name	Cores	Memory per Executor	Submitted Time	User	State	Duration
app-20200129173110-0005	ex3	1	1024.0 MB	2020/01/29 17:31:10	hadoop	FINISHED	59 s
app-20200129172243-0004	ex3	1	1024.0 MB	2020/01/29 17:22:43	hadoop	FINISHED	4.4 min

3.3.2 结果分析

寻找最佳 k 值

查看 `/home/hadoop/Experiment/Ex3_KmeansI/results/k_cost.png` 结果如下:



可以看到 KMeans 算法在聚类时 $k=3$ 处发生第一次明显拐角: $k=3$ 之前快速下降, $k=3$ 之后下降缓慢。因此我们选择 $k=3$ 为最佳分类簇数。此时损失约为 78。

实际上我们给出的数据集中鸢尾花亚种类型便只有3种, 可见我们的分析是准确的。

3.4 常见集群错误

集群报错: `An error occurred while trying to connect to the Java sever(127.0.0.1:42523)`

```
ERROR:py4j.java_gateway:An error occurred while trying to connect to the Java server (127.0.0.1:42523)
Traceback (most recent call last):
  File "/usr/local/spark/python/lib/py4j-0.10.7-src.zip/py4j/java_gateway.py", line 929, in _get_connection
    connection = self.deque.pop()
IndexError: pop from an empty deque

During handling of the above exception, another exception occurred:
```

没有什么是重启不能解决的, 如果有那就_____?

这个情况原因暂时不明, 有可能突然出现。初步猜测是端口占用问题。

尝试以下方法一般都能解决:

1. 关闭集群

关闭 spark 集群

```
cd /usr/local/spark/  
sbin/stop-all.sh
```

关闭 `hadoop` 集群

```
cd /usr/local/hadoop/  
sbin/stop-all.sh
```

2. 启动集群

启动 `hadoop` 集群

```
cd /usr/local/hadoop  
sbin/start-all.sh
```

启动 `spark` 集群

```
cd /usr/local/spark  
sbin/start-master.sh  
sbin/start-slaves.sh
```

再次执行任务如果错误还不能解决，可尝试 关机重启Master服务器 --> 再执行上述1、2步骤

4 实验小结

通过本次实验，你初步了解了在 `spark` 分布式编程环境也独立完成了一个简单 `KMeans` 聚类，相信聪明的你也一定不少困难。不过，完全不用气馁，刚接触 `spark` 分布式遇到的问题也常让我苦恼很久，全靠 `Google`、百度、`Stackoverflow` 才有勇气面对自己是个 `zz` 的事实，你们也应该好好掌握上面几个工具 `Debug`。

接下来，你将面对本门课程最后一次实验，它比以前实验相对而言更具有挑战性但是并不复杂，更多的介绍就留在下次实验详细和你说吧。