

1 研究目的

探究MapReduce中Combiner对单词计数作业的影响。

2 研究内容

- 1. Combiner是否能够有效减少Shuffle阶段的数据量？
- 2. 在不同的key分布（均匀分布与数据倾斜）下，其性能提升效果有何差异？
- 3. 是否所有场景都适合使用Combiner？

3 实验

3.1 实验环境

硬件

集群一共含3个节点，分别是master节点foriel，slave节点u20、u22。
foriel节点：CPU核数16，内存大小15Gi，网络带宽1000Mb/s，存储类型SSD。
u20节点：CPU核数4，内存大小8.7Gi，网络带宽1000Mb/s，存储类型SSD。
u22节点：CPU核数16，内存大小7.5Gi，网络带宽1000Mb/s，存储类型SSD。

软件

foriel节点：Ubuntu24.04.2，JDK版本11.0.28，hadoop-3.4.2。
u20节点：Ubuntu24.04.2，JDK版本11.0.27，hadoop-3.4.2。
u22节点：Ubuntu22.04.5，JDK版本11.0.29，hadoop-3.4.2。

3.2 实验负载

准备两个数据集 data_uniform.txt 和 data_skewed.txt，前者为单词均匀分布的数据集，后者为单词严重倾斜分布的数据集，其中 data_uniform.txt 约627MB， data_skewed.txt 约595MB。

3.3 实验步骤

组长 刘烨铭 负责环境搭建部分，组员 张笑铖 负责实验部分：

- 1. 首先， 刘烨铭 搭建好一个Hadoop集群，选择 刘烨铭 的主机 foriel 作为master节点， 张笑铖 主机 u22 和 陈岩松 的虚拟机 u20 作为slave节点。

```
leafriel@foriel:~$ jps
90753 JobHistoryServer
124982 ResourceManager
99819 NameNode
149289 Jps

leafriel@u20:~$ jps
24192 NodeManager
28076 Jps
20236 DataNode

leafriel@u22:~$ jps
23203 Jps
15368 DataNode
19468 NodeManager
```

其中，组长将三个节点的用户名都设为了leafriel，没有该账户的节点就新建账户leafriel，目的是隔离环境方便管理。

- 2. 张笑铖 准备实验代码：登录foriel节点，创建文件WordCountExperiment.java（见code文件夹）并编译。

```
mkdir classes
javac -classpath $(hadoop classpath) -d classes WordCountExperiment.java
jar -cvf wc_experiment.jar -C classes/ .
```

- 3. 郑一钊 把数据集和需要执行的指令发给 张笑铖， 张笑铖 分别执行四个任务：均匀分布&无Combiner，均匀分布&有 Combiner，数据倾斜&无Combiner，数据倾斜&有Combiner。等四个任务执行完毕后，连接Hadoop的Web UI（http://foriel:8088），点击每个任务

History，查看各自的Counters，最后由张笑铖 进行数据记录与分析。需要执行的指令如下：

```
cd ~
hadoop jar wc_experiment.jar WordCountExperiment /input/uniform /output/uniform_no_comb false
hadoop jar wc_experiment.jar WordCountExperiment /input/uniform /output/uniform_with_comb true
hadoop jar wc_experiment.jar WordCountExperiment /input/skewed /output/skewed_no_comb false
hadoop jar wc_experiment.jar WordCountExperiment /input/skewed /output/skewed_with_comb true
```

组员 郑一钊 负责准备数据部分：
生成均匀数据（data_uniform.txt）：

```
import random

words = ["apple", "banana", "orange", "grape", "melon", "peach", "lemon", "cherry"]
# 生成约 200MB - 500MB 的数据
# 关键点：每 10 个单词换一行
with open("data_uniform.txt", "w") as f:
    for i in range(100000000):
        f.write(f"{random.choice(words)} ")
        if i % 10 == 0: # 每10个单词插入一个换行符
            f.write("\n")
print("Data generation complete.")
```

生成倾斜数据（data_skewed.txt）：

```
import random

words = ["apple", "banana", "orange", "grape", "melon", "peach", "lemon", "cherry"]
# 目标：生成数据倾斜文件
# "apple" 出现的概率设为 90%，模拟热点 Key
# 必须加入换行符防止 OOM
print("Generating skewed data...")
with open("data_skewed.txt", "w") as f:
    for i in range(100000000): # 循环次数决定文件大小
        if random.random() < 0.9:
            f.write("apple ") # 制造倾斜
        else:
            f.write(f"{random.choice(words[1:])} ") # 其他单词
    # 关键修正：每 10 个单词换一行
    if i % 10 == 0:
        f.write("\n")
print("Skewed data generation complete.")
```

最终MapReduce部署成功：

Submit Time	Start Time	Finish Time	Job ID	Name	User	Queue	State	Maps Total	Maps Completed	Reduces Total	Reduces Completed	Elapsed Time
2025.11.30 19:25:38 CST	2025.11.30 19:25:41 CST	2025.11.30 19:26:13 CST	job_1764494400765_0009	word count experiment	leafriel	root.default	SUCCEEDED	5	5	11	11	00hrs, 00mins, 31sec
2025.11.30 19:24:05 CST	2025.11.30 19:24:06 CST	2025.11.30 19:25:20 CST	job_1764494400765_0008	word count experiment	leafriel	root.default	SUCCEEDED	5	5	11	11	00hrs, 01mins, 13sec
2025.11.30 19:22:32 CST	2025.11.30 19:22:34 CST	2025.11.30 19:23:11 CST	job_1764494400765_0007	word count experiment	leafriel	root.default	SUCCEEDED	5	5	11	11	00hrs, 00mins, 36sec
2025.11.30 19:18:17 CST	2025.11.30 19:18:18 CST	2025.11.30 19:19:29 CST	job_1764494400765_0006	word count experiment	leafriel	root.default	SUCCEEDED	5	5	11	11	00hrs, 01mins, 11sec

3.4 实验结果和分析

实验场景	启用Combiner	执行时间 (ms)	Map Output Records	Combine Input Records	Combine Output Records	Reduce Shuffle Bytes	Reduce Input Records
均匀分布	否	157,390	100,000,000	0	0	1,237,504,755	100,000,000
均匀分布	是	68,360	100,000,000	100,000,272	312	825	40

实验场景	启用Combiner	执行时间 (ms)	Map Output Records	Combine Input Records	Combine Output Records	Reduce Shuffle Bytes	Reduce Input Records
数据倾斜	否	154,200	100,000,000	0	0	1,204,287,800	100,000,000
数据倾斜	是	50,660	100,000,000	100,000,264	304	825	40

结果分析（上面四组实验记为组1-4，分析对应研究内容）：

1. 通过对比组1与组2（或组3与组4）可以发现，开启Combiner后，Reduce Shuffle Bytes（网络传输数据量）呈现数量级下降。原因：Combiner对输出的中间结果进行局部的聚合操作，因此能极大减少Map端写入磁盘的数据量以及Shuffle阶段占用的网络带宽，从而显著减轻Reducer的拷贝和归并压力。
2. 组4比组3性能提升幅度高。原因：
均匀分布：即使不开启Combiner，11个Reducer也能利用并行计算分摊负载，作业运行相对平稳。Combiner 主要通过减少 I/O 来提升速度。
数据倾斜：若不开启Combiner，多Reducer机制失效。受Hash分区策略影响，热点数据仍涌向单一Reducer，导致严重的“长尾现象”（Straggler Problem）。此时Combiner的作用不仅仅是压缩数据，更是打破了单点瓶颈，使得作业能恢复并行执行。
3. 虽然实验显示Combiner效果显著，但并非所有场景都适用。
适用场景：Combiner的操作必须满足结合律和交换律。例如求和、求最大值、求最小值均适用。
不适用场景：对于求平均值等操作，不能直接使用Combiner。例如Mapper1输出<10,20>，Mapper2输出<30,40,50>，用Combiner直接求平均，Mapper1发送15，Mapper2发送40，Reducer最终得到(15+40)/2=27.5，而真实平均值为(10+20+30+40+50)/5=30。所以在使用Combiner前，必须严格验证算法逻辑是否允许在Map端进行局部预聚合。

3.5 结论

本次实验通过两个约600MB数据集在5个Mapper和11个Reducer的环境下验证了Combiner的机制。实验数据表明，Combiner能够有效减少Shuffle阶段的网络I/O和磁盘I/O，大幅提升作业执行效率 。

3.6 分工

贡献度大小降序排列：

- 刘烨铭：搭建环境耗时最长。
- 张笑铖：记录实验结果和分析。
- 郑一钊：生成合适格式的数据集进行实验。
- 陈岩松：提供一台虚拟机。