

# 基于 Hadoop 的海量电费数据处理模型<sup>①</sup>

湛章义<sup>1,2</sup>, 毕伟<sup>1</sup>, 向万红<sup>1</sup>, 王国安<sup>1</sup>, 吴爱国<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(远光软件股份有限公司, 珠海 519085)

<sup>2</sup>(哈尔滨工业大学深圳研究生院, 深圳 518055)

**摘 要:** 随着电费数据量的快速增长, 某特大型集团公司财务管理信息系统传统的电费数据处理模式已经成为系统的性能瓶颈. Hadoop 是一个可实现大规模分布式计算的开源框架, 具有高效、可靠、可伸缩的优点, 被广泛应用于海量数据处理领域. 本文在对电费业务和 Hadoop 进行分析和研究的基础上, 提出了电费数据新的处理模型, 建立了基于 Hadoop 和 Hive 的电费明细数据处理平台. 实验证明该模型可以有效解决目前海量电费数据处理面临的性能瓶颈, 提高电费数据处理的速度和效率, 并且可以提供高性能的明细数据查询功能.

**关键词:** Hadoop; Hive; 海量数据; 电费数据处理; 财务管理系统

## Massive Electricity Data Processing Model Based on Hadoop

SHEN Zhang-Yi<sup>1,2</sup>, BI Wei<sup>1</sup>, XIANG Wan-Hong<sup>1</sup>, WANG Guo-An<sup>1</sup>, WU Ai-Guo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Ygsoft Inc., Zhuhai 51908, China)

<sup>2</sup>(Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** The traditional electricity data processing methods of a corporation's financial management information system have difficulty as the amount of electricity data is growing rapidly. Hadoop is a large-scale distributed computing framework that has the advantages of high efficient, reliable and scalable. Hadoop is widely used in the massive data processing field. Based on the analysis and research of electricity process and Hadoop, this paper proposed a novel electricity process model which includes a distributed computing platform based on Hadoop and Hive. The experimental results show the platform can effectively solve the performance bottleneck that the electricity processing service is facing and improve the speed and efficiency of electricity process. In addition, the new model can provide high-performance electricity detailed query functions.

**Key words:** hadoop; hive; massive data; electricity data process; financial management system

随着业务数据的快速增长, 某特大型集团公司财务管理系统面临海量数据处理难题, 其现有的以关系型数据库为代表的传统数据存储、处理技术和工具, 已无法有效应对如此大规模急速增长的数据. 其中电费业务表现最为突出: 集团超过 30 个子公司, 平均每个子公司用电客户规模在 500 至 800 万、每个月的用电明细数据超过 1 亿条.

电费数据规模庞大, 而且对于集团公司的决策和政策自定具有重要意义. 例如可以根据各个类别(如地区、行业等)用电量变化的原因及影响因素, 如国家行

业政策、地方经济发展状况、气候异常变化、大用户的产品生产和销售情况等. 通过对这些资料的变化情况, 设计各个行业用电量及其影响因素之间的非线性关系, 可以定性或者定量分析用户和用电量之间的关系. 对于重要的行业用户类别, 如何调整其用电价格策略来保证公司的售电收入增加. 为电力营销决策提供支持, 实现决策的科学化、系统化, 减少不确定性.

但是面对海量电费数据, 基于关系型数据库的传统处理模型已经很难满足性能方面的要求. 而且仅仅依靠升级数据库软硬件设备也无法从根本上解决问题,

① 基金项目: 国家自然科学基金(61103050); 广东省部产学研合作重大项目(粤财教[2010]303 号)

收稿时间: 2013-09-17; 收到修改稿时间: 2013-10-28

更无法满足日益增长的数据量处理需求。

为了解决财务管理系统面临的海量数据处理难题,本文提出了基于Hadoop的海量电费数据处理模型,解决海量数据处理的性能瓶颈,提高财务管理系统性能。

Hadoop作为一种开源的架构适合在廉价机器上对各种资源数据进行分布式存储和分布式管理,具有可伸缩性和高容错性;采用MapReduce编程模型可以对海量数据进行有效分割和合理分配,以实现高效并行处理,而且并行程序编写简单。Hadoop可以处理数千个节点和PB级数据,让数据处理和分析变得更加方便快捷。

目前Hadoop的研究多集中于科研和互联网行业的海量数据处理,有一些成功的应用<sup>[1-8]</sup>,在笔者所在远光软件公司开发中得到实际应用验证,其所开发的财务管理系统实现效果证明,Hadoop同样可以应用于企业管理软件领域,解决超大集团信息化应用中,海量业务数据的处理难题。

## 1 财务管理系统现电费数据处理流程

### 1.1 电费数据处理流程

电费业务明细数据发生在“电力营销系统”,根据集团公司“财务——业务一体化”要求,电费核算需要在“财务管理系统”中完成。因此,电费业务模块需要从营销侧采集电费明细数据,然后将其转换成财务管理系统的管理对象,并进行业务核算等操作。

这里需解决第三方系统间业务数据集成的问题,目前采取的是中间数据库的形式。营销系统在月末将用电客户信息表和应收电费明细表上传到中间数据库,财务管理系统在月初从中间数据库采集明细数据,在财务管理系统数据库完成业务处理。数据采集模块从中间数据库采集的明细数据是文本形式,然后导入财务管理系统数据库。其流程如图1所示。

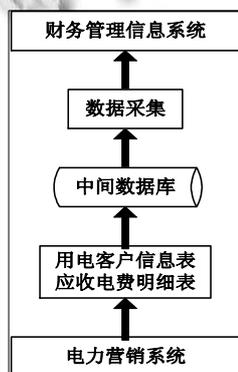


图1 财务管理系统电费数据处理流程

数据采集模块从中间数据库采集的明细数据是文本形式,然后导入财务管理系统数据库。

由于电费明细数据量太过庞大,每个子公司一个月的电费明细数据就有近亿条。为了便于处理,财务管理系统的电费业务模块先将明细数据按口径合并,然后再转换成财务管理系统可以识别的管理对象。因此,在现有处理流程中,主要包括合并和转换两个操作:

合并:电费用户中居民用户的数量所占比例非常大,可电费收入所占比重又相对较小,其变化的规律也比较容易掌握,因此根据管理的重要性原则,我们重点监控的对象是大中型用户,将居民照明用户分类合并处理,可以将需处理的业务数据量下降70%~90%。

转换:电费数据涉及电费项目分类、电费对象分类,以及具体所属对象。转换就是把营销侧的各种分类、所属对象转换成财务管理系统可以识别的各种分类以及对象。

### 1.2 存在的问题

财务管理系统电费业务有很高的时效性要求:每月初(3号之前)完成业务数据的处理,在财务系统中能出具完整的电费业务报表、账务数据。

遵循现有处理模型,对于电费明细数据1亿条规模的省公司,电费业务存在很大的性能问题:一是无法按时完成数据处理;二是执行电费业务时数据库服务器资源占用严重。根据实施地反馈信息,运行电费业务时,数据库服务器经常出现“假死”,CPU和内存利用率接近100%。影响其它业务模块的运行,严重影响整个财务管理系统的性能。

因为这个原因,电费业务模块暂时还无法提供电费明细数据的查询业务,本文介绍的处理模型实现了明细查询功能。

通过对现有电费数据模型和处理流程的分析,结合实际测试和验证,性能的瓶颈是电费明细数据“合并”操作。该操作直接处理海量明细数据,其需要的时间和硬件资源占整个处理过程的70%以上。

本文的处理模型正是以该性能瓶颈为突破口,将合并操作从数据库系统中分离出来,只将合并后的少量数据存入数据库,用于后续的业务分析和处理。

## 2 基于Hadoop的海量电费数据处理模型

### 2.1 设计原理

我们提出了拆分、重构和融合的设计思想,同时

设立了尽量简单的原则,在保持足够扩展性前提下,极力保持整个系统的简单、易部署和实用性,这样做避免为了细节的性能问题投入太多精力对整体构建产生负面影响.事实证明保持简单的原则保证了整个研究项目的顺利发展,同时为后期的性能优化节约了很多宝贵的时间.

## 2.2 电费数据处理模型

仔细分析整个电费处理的业务流程后,在尽量保持现有业务流程的基础上,针对主要的瓶颈提出了解决方案:引入 Hadoop 分布式处理平台来处理和海量电费明细数据,按不同口径合并后的数据再存入财务管理数据库,由数据库服务器完成最后的管理对象转换.基于 Hadoop 海量电费数据处理模型如图 2 所示.

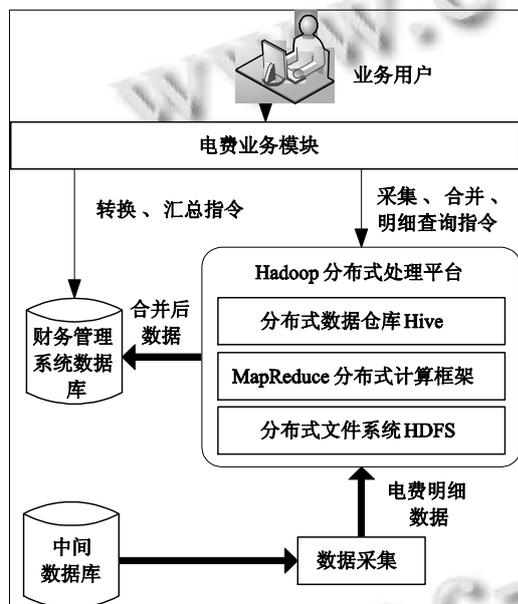


图 2 海量电费数据处理模型

从图 2 可以看到,新模型还是遵循原有业务流程,但是有三点不同:

- 1) 采集的电费明细数据不是直接存入财务管理数据库,而且存在 Hadoop 分布式处理平台.
- 2) 合并操作从财务管理数据库分离出来,利用 Hadoop 分布式计算框架完成海量电费明细数据分类合并,合并后的数据再存入财务管理数据库.
- 3) 依托 Hadoop 平台,不仅能快速处理海量数据,还提供了电费明细数据查询功能.原有处理模型因为结构和性能原因,暂时无法提供该功能.

通过在原有模型中整合 Hadoop 分布式处理平台,不仅提高了电费业务模型的性能,丰富了功能;而且分流和解决了原有模型中的性能瓶颈,从而保证整个财务管理信息系统高性能.

## 2.3 Hadoop 分布式处理平台

海量电费数据处理模型的核心模块是 Hadoop 分布式处理平台,该平台利用分布式文件系统 HDFS 来存储海量电费明细数据,利用 MapReduce 分布式计算框架实现对海量明细数据的高效处理.

### 1) 分布式文件系统 HDFS

Hadoop 分布式处理平台的存储是基于分布式文件系统 HDFS,它采用的是只写一次,读取多次的文件访问模型.一个文件一旦被创建,写入关闭后就不应再被修改.这个假设简化了数据一致性问题因而保证了高数据访问吞吐量.电费明细数据属于历史数据,不存在增删改查的操作,只要批量导入和查询,符合 HDFS 访问模型.

### 2) MapReduce 分布式计算框架

在 HDFS 之上就是 MapReduce 分布式计算框架.对于海量数据的处理,通常采用的处理手法就是并行计算,而并行计算是有很高的门槛,只要少量程序员具备开发并行计算程序的能力.

而 MapReduce 简化了并行计算编程模型:它分为 Map 和 Reduce 两个过程.在 Map 中,通过 Split 将数据分开,利于数据并行处理;而 Reduce 则把分开的 Map 处理结果合到了一起,这一分一合便完成了计算,所有的复杂性都在中间隐藏了.

正是这样的优势使得 Hadoop 在众多分布式存储和计算技术中脱颖而出,成为目前分布式计算事实上的行业标准,得到广泛应用.

### 3) 分布式数据库 Hive

为了易于实现,选用分布式数据库 Hive 来存储和处理电费明细数据.Hive 是基于 Hadoop 的开源数据仓库,用于存储和处理海量结构化数据.它把海量数据存储于 Hadoop 分布式文件系统(HDFS),而不是数据库,但提供了一套类数据库的数据存储和处理机制,并采用 HQL(Hive 查询语言)的类 SQL 语言对这些数据进行自动化管理和处理.HQL 是 SQL 的一个子集,语法上有大量相同的地方,实现起来非常便利.Hive 经过对 HQL 语句进行解析和转换,最终生成一系列基于 Hadoop 的 Map/Reduce 任务,通过执行这些任务完成数据处理.

由于 Hive 建立在集群上并可以利用 MapReduce 进行并行计算, 因此可以支持很大规模的数据, 可以满足海量电费数据处理要求. 由于 Hive 是建立在 Hadoop 之上的, 因此 Hive 的可扩展性和 Hadoop 的可扩展性是一致的, 可以满足数据快速增长的需求.

#### 4) HQL 指令执行

Hive 是基于 Hadoop 的一个数据仓库工具, Hive 将元数据存储于 RDBMS 中, 所有的数据都存储在 HDFS 中; Hive 没有自己的执行引擎, 而是将 HQL 指令解析为 MapReduce 任务, 提交到 MapReduce 架构处理. HQL 指令执行流程如图 3 所示.

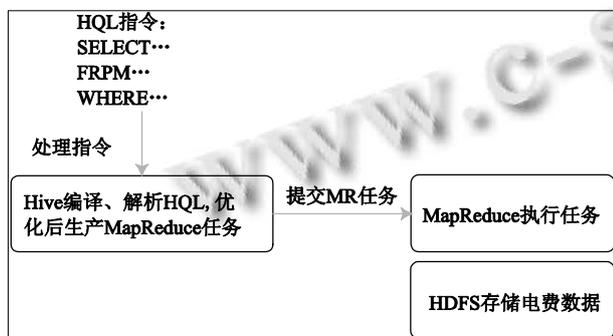


图 3 HQL 指令执行流程

### 2.4 Hadoop 平台处理流程

Hadoop 分布式处理平台主要有三个处理流程:

#### 1) 电费明细数据导入 Hive

数据采集模块从中间数据库采集的数据, 是文本格式. 将这些数据导入数据库 Hive 中, 需要两步, 下面以应收电费明细表为例说明:

步骤一: 在 Hive 创建相应表 ysd\_f\_201207

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS ysd_f_201207 (ym
INT, cons_id BIGINT, prc_amt_id BIGINT, field_code
STRING, sj_value BIGINT, je_value DOUBLE, field_
kind TINYINT, comp_id INT)
COMMENT 'this is a ysd_f table'
ROW FORMAT DELIMITED FIELDS
TERMINATED BY '\n'
  
```

STORED AS textfile;

这里要注意行、列间隔符号要与采集模块中保持一致, 否则会出现导入数据错误.

步骤二: 利用 Hive 提供的 Load data 命令, 将数据采集模块采集的数据导入步骤一创建的表中, 命令如下:

```

LOAD DATA LOCAL INPATH '/root/ysd_f_201207'
OVERWRITE INTO TABLE ysd_f_201207;
  
```

这样就可以将营销的明细数据表导入 Hive, 然后基于这些表实现数据的合并和明细查询等操作.

#### 2) 执行处理规则

原有处理模式是用 SQL, 在数据库服务器上实现对电费明细数据的合并、转换、汇总等操作. 因为 Hive 提供的 HQL 是标准 SQL 的子集, 因此, 需要对原有 SQL 指令进行修改和调整, 使其符合 HQL 规范, 并生产后缀为 .hql 的指令文件.

然后通过 Hive 提供的 JDBC 接口, 通过 Java 代码将 HQL 指令发送到 Hive 上执行.

HQL 的执行遵循图 3 所示的流程, HQL 的解析、MapReduce 任务的生成、提交, 到最后的运行, 都由 Hive 完成.

使用 Hive 作为数据仓库, 不需要开发专门的 MapReduce 应用, 十分适合数据仓库的统计分析, 这也是我们选择 Hive 的一个原因.

#### 3) 数据导出

合并后的明细数据存储在 Hive 的表中, 这些数据用 Hive 提供的 Load data 将合并后的数据导出为文本文件, 然后遵循原模式, 送入财务管理系统数据库. 下面是导出查询 1 结果的实现代码:

```

INSERT OVERWRITE LOCAL DIRECTORY
'/root/tmp/query1_result'
SELECT A.ym, A.sl_value, A.je_value, B.ssgds,
B.mldj
FROM ysd_f_201207 A
JOIN user_201207 B
ON A.ym=B.ym AND
A.cons_id=B.cons_id AND
A.prc_amt_id=B.prc_amt_id AND
B.ssgds = 334010102;
  
```

## 3 Hadoop 分布式处理平台测试

Hadoop 分布式处理平台作为海量电费处理模型的核心模块, 负责电费明细数据的存储和处理, 其性能直接决定了海量电费数据处理模型的性能, 因此测试主要围绕该平台展开.

### 3.1 Hadoop 分布式处理平台

Hadoop 分布式处理平台由 10 个 PC 组成集群: 1

个 Namenode/JobTracker 节点, 另外 9 个作为 Datanode/TaskTracker 节点. 所有节点硬件均是: Intel i 4 核 CPU, 3GHz; 4G 内存, 128G 固态硬盘, 千兆网卡. 操作系统采用 CentOS5.5 64 位系统, JDK1.6.0. Hadoop 版本采用 1.1.1, Hive 采用 0.9.0 版本<sup>[9]</sup>.

为了对比测试结果, 以原处理流程作为基准进行测试, 在财务管理数据库服务器上运行同样车测试数据和命令. 数据库服务器硬件: IBM 刀片, 16 个 CPU, 48G 内存, 千兆网卡. 数据库软件: Oracle 10.2.

### 3.2 测试数据与测试内容

**测试数据:** 为了测试 Hadoop 分布式计算平台的性能, 我们选用某子公司一个月的电费明细数据, 涉及三个表: 应收电费明细表: ysd\_f\_201207, 记录数为 67 999 619 条, 3.6GB; 用电客户信息表: user\_201207, 记录数为 15 437 442 条, 1.5GB; 财务管理对象表: FMObject, 记录数为 5 490.

**测试内容:** 为了测试 Hadoop 分布式计算平台的批量数据处理和查询分析性能, 选择了 1 个分类合并操作, 6 个明细查询操作, 共 7 条测试命令.

1) group 合并操作, 返回结果记录 25247 条

```
SELECT A.y_m, A.field_code, SUM(A.sl_value)
sl_value, SUM(A.je_value)je_value, A.field_kind, B.prc_
code, B.ssgds, C.ydlb, C.dydj
FROM FMObject C
RIGHT OUTER JOIN user_201207 B
ON C.dxid = B.prc_code
RIGHT OUTER JOIN ysd_f_201207 A
ON B.cons_id = A.cons_id AND
B.prc_amt_id = A.prc_amt_id
GROUP BY A.y_m, A.field_code, A.field_kind,
B.prc_code, B.ssgds, C.ydlb, C.dydj;
```

经过分类合并操作后, 电费明细数据减少到 25247 条, 只有原记录数的 3.7%, 财务管理系统处理这些数据将不会再有性能问题. 海量数据的处理压力由分布式计算平台承担, 从而保证财务管理系统性能.

2) 查询操作

根据实际的应用场景, 选取了 6 条常用的查询指令, 返回的记录集覆盖 2000 条到 200 万条不同范围.

### 3.3 测试结果

每条指令分别在 Oracle 数据库服务器和 Hadoop 分布式处理平台上执行 3 次, 3 次执行时间的平均值作

为该指令执行时间, 测试结果如图 4 所示.

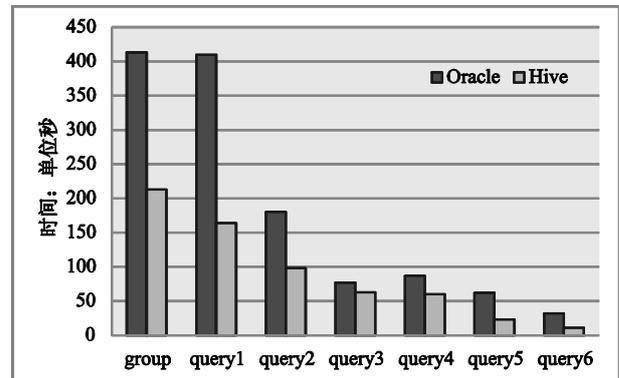


图 4 Hadoop 分布式处理平台测试结果

这里 Oracle 执行时间包括查询时间和游标遍历时间; Hive 查询时间包括查询时间和结果记录写入表时间.

从测试结果可以看到, 在硬件不占优势的情况下, Hadoop 分布式处理平台的执行性能相对于 Oracle 数据库服务器有 20%--200% 的提升! 而且返回结果集越大, 性能优势越明显. 这充分体现 Hadoop 在大数据处理方面的优势.

测试结果证明, 基于 Hadoop 的海量电费数据处理模型可以解决财务管理系统电费业务面临的数据处理难题, 并且具有更优的性能. 得益于 Hadoop 优良的扩展性能, 该处理模型可以根据数据量的增长进行扩展, 满足将来急速增长的业务数据处理需求.

### 3.4 Hadoop 分布式处理平台性能优化

上述的测试是完全按照原有模型处理规则进行, 并没有充分的发挥 Hadoop 在大数据、大表处理上的优势. 因此, 在完成分布式存储处理平台的基础上, 结合电费数据特点以及 Hive 特性开展了优化工作, 并取得很好成果.

Hive 可以方便处理大表, 而且还有分区功能 (Partition), 提高大表处理效率<sup>[10]</sup>. 一般的 Select 查询会扫描整个表, 如果一个表使用 Partitioned 命令建立分区, Hive 在执行查询时就可以利用分区剪枝 (input pruning) 的特性, 只扫描一个分区, 极大提高查询效率, 本节的性能优化正是基于这个特性来展开.

具体优化过程如下: 将应收电费明细表 ysd\_f\_201207 和用电客户信息表 user\_201207 合并为一张大表 user\_ysd\_f\_201207; 合表时用 Partitioned by 子句在 YM 和 SSGDS 两个字段建立分区. 然后对查询语句进行修

改, 基于 user\_ysdf\_201207 分别执行 query1, query3, query4 三条查询命令. 优化后的执行结果如图 5 所示.

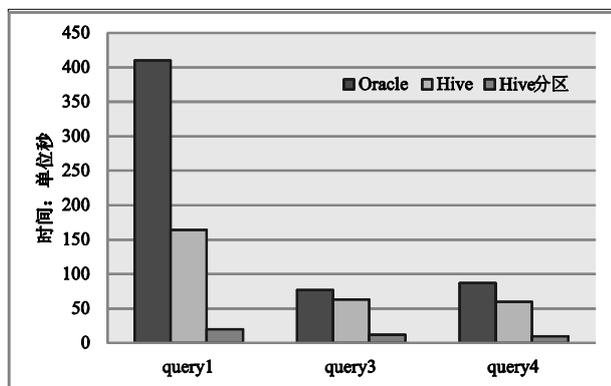


图 5 优化后测试结果

经过优化, query1 性能比原模型提升 20 倍, 相对于分区前的 Hive 操作性能也提升 8 倍; query2 分别提升 6 倍和 5 倍, query3 提升 8 倍和 6 倍, 优化性能非常显著.

海量电费数据处理模型可以提供高性能的电费明细数据查询功能, 该功能在财务管理系统数据库中实现起来非常困难.

#### 4 结语

电费业务作为财务管理系统核心业务之一, 面临海量数据处理难题, 进而影响整个财务管理系统整体性能. 本文提出的海量数据处理模型, 针对电费数据处理的性能瓶颈, 在遵循现有处理流程的基础上, 建立 Hadoop 分布式处理平台存储和处理海量电费明细数据, 合并后的数据再送入财务管理系统数据库进行管理对象转换和处理业务, 同时基于 Hadoop 分布式存储系统, 提供电费明细数据查询功能.

测试结果证明该模型可以有效解决目前系统海量数据处理难题, 该模型易于实现和扩展, 可以支撑特大型集团公司财务管理系统快速增长的大数据处理要求. 不仅为财务系统带来更高的性能和可用性, 使得这些系统能够更高效地解决更复杂的问题, 而且节省

时间和成本, 创造更大的价值.

下一步研究工作在对现有模型进行完善的同时, 研究分布式处理平台管理维护和稳定性问题. 另外, 海量电费数据处理模型应用的范围不仅仅局限于电费明细数据的合并与查询, 还可以应用于电价分析、电价预测模型等深入分析业务, 创造更大应用价值, 这些也是后续研究内容.

#### 参考文献

- Gupta R, Gupta H, Mohania M. Cloud computing and big data analytics: What is new from databases perspective. Lecture Notes in Computer Science, 2012, 7678: 42-61.
- 曹凤兵, 吴开贵, 吴长泽. 基于 Hadoop 的校园云计算系统. 计算机系统应用, 2011, 20(6): 7-11.
- Bahga A, Madiseti VK. Analyzing massive machine maintenance data in a computing cloud. Parallel and Distributed Systems, IEEE Trans. on, 2012, 23(10): 1831-1843.
- Bohlouli M, Schulz F, et al. Towards an integrated platform for big data analysis integration of practice-oriented knowledge technology. Trends and Perspectives, 2013: 46-555.
- 吴晓辉, 刘欣, 卫森生, 张正. 基于云计算的中国机动车辆保险信息共享平台. 计算机系统应用, 2012, 21(3): 24-28.
- 张晓娟, 易明巍. 基于云计算与 SOA 的企业集成架构及实现. 计算机系统应用, 2011, 20(9): 1-6.
- 王珊, 王会举, 覃雄派. 架构大数据: 挑战、现状与展望. 计算机学报, 2011, 34(10): 1741-1752.
- 刘琨, 董龙江. 云数据存储与管理. 计算机系统应用, 2011, 20(6): 232-237.
- White T. Hadoop: The Definitive Guide. O'Reilly Media, Inc., 2012.
- Capriolo E, Wampler D, Rutherglen J. Programming Hive. O'Reilly Media, Inc., 2012.