

一种基于 MongoDB 和 Hadoop 的海量非结构化物联网数据处理方案

杨 鹏^{1,2}, 林俊晖^{1,3}

(1 重庆邮电大学 通信与信息工程学院, 重庆 400065; 2 中国信息通信研究院,
北京 100191; 3 重庆高校市级光通信与网络重点实验室, 重庆 400065)

摘 要: 随着物联网数据种类的增多和数据规模的增大, 对物联网数据的存储和计算提出了新的挑战, 为了应对海量非结构化物联网数据的存储和计算要求, 提出了一种 NoSQL 数据库技术与 MapReduce 编程框架相结合的方案. 使用典型的 NoSQL 数据库 MongoDB 作为主数据库来存储海量非结构化的物联网数据, 使用 Hadoop MapReduce 作为对物联网数据分析处理的计算框架. 通过对 MongoDB 集群和 Hadoop 集群的重叠部署, 降低了计算时数据传输的开销, 构建了一套高可用、高性能的物联网大数据处理平台. 通过使用该方案对海量非结构化物联网数据的处理分析实验验证了该方案的高可用性及其高效性.

关键词: 物联网; 大数据; NoSQL; Hadoop 平台; MongoDB 数据库

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2018)04—0068—05

A Scheme for Massive Unstructured Iot Data Processing Based on MongoDB and Hadoop

YANG Peng^{1,2}, LIN Jun-hui^{1,3}

(1 School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Post and Telecommunications, Chongqing 400065, China; 2 China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China;
3 Key Laboratory of Optical Communicate and NetWorks, Chongqing 400065, China)

Abstract: As the IoT data type and data volume increase, a new challenge is proposed to the storage and calculation of IoT data. To meet the storage and calculation demands of the massive unstructured IoT data, a scheme that NoSQL database technology combined with MapReduce programming framework has been presented in this paper. Using the MongoDB, a typical database of NoSQL, as the main database to store massive unstructured IoT data. At the same time, the Hadoop MapReduce was adopted as the calculation framework for IoT data analysis and processing. Through the overlapping deployment of MongoDB cluster and Hadoop cluster, the cost of data transmission is reduced, and a set of high availability and high performance large data processing platform is established. The analysis of the experiment that using this scheme to deal with massive IoT data has verified the high efficiency and high efficiency of this method.

Key words: IoT; Big Data; NoSQL; Hadoop platform; MongoDB database

1 引言

随着物联网技术的发展和应用的落地, 其产生数据的速度非常快, 种类十分多, 数据体量巨大. 面对类型多样、非结构化的海量物联网数据, 传统的物

联网数据存储技术和分析手段已力不从心^[1]. 传统关系型数据库在数据规模较大时操作效率低下, 查询和插入数据极慢, 面对海量非结构化的物联网数据建表极其困难, 在物联网应用中数据增长速度极快使得关系型数据库横向扩展困难的缺点更为严

重;同时使用传统的单机程序进行物联网数据分析时,受单机资源的限制,单机程序难以处理海量的物联网数据,并且计算能力也难以横向扩展。海量、非结构化的物联网数据对数据存储和分析提出了巨大的挑战。

近年来国内外的学者对于物联网数据的存储技术进行了许多研究,目前的研究方向主要集中在使用 NoSQL 进行物联网数据的存储和管理^[2]。NoSQL 数据库采用更为松散的数据模式,数据组织更加灵活,具有极强的读写能力和横向扩展能力, NoSQL 数据库的特点正好满足了海量、非结构化物联网数据对于数据存储的要求^[3-4]。面对海量数据的分析任务,单机的处理分析程序已经遇到瓶颈,对此, Google 提出了可应用于大规模数据集并行计算的 MapReduce 编程框架,在数据规模巨大、计算任务复杂的应用场景下, MapReduce 框架能够将输入数据集和计算任务切割成若干数据切片和计算子任务,再将数据切片和计算子任务分发到大量低端服务器搭上并发执行,从而在提升运行效率的同时还降低了计算成本。 Hadoop 是 Apache 基金会根据 MapReduce 编程框架的实现的一套分布式系统软件, Hadoop 具有非常优秀的容错性和扩展性,并在机器学习、数据挖掘和科学计算等领域有着广泛的应用。

本文根据物联网数据的特点提出了一种基于 MongoDB 的 NoSQL 数据库和 Hadoop MapReduce 相结合的物联网数据存储和分析方案,通过搭建 MongoDB 和 Hadoop 的联合集群验证了此方案在面对海量、非结构化的物联网数据存储和分析时,具有较高的性能和较高的可用性。

2 MongoDB 数据库

2.1 MongoDB 的数据组织结构

MongoDB 是开源、高效、高性能的文档型数据库^[5],在许多应用场景下 MongoDB 已经可以用来替代关系型数据库。同时在 MongoDB 中也实现了一些关系型数据库的特点,在 MongoDB 中通过多路搜索树实现了二级索引、查询排序等关系数据库的特点。 MongoDB 是基于文件存储的典型 NoSQL 数据库软件,其中一个文档相当于关系型数据库中的一条记录^[6],一个集合相当于关系型数据库中的一张表,每个文档中的数据是以 key-value 键值对的形式自由组织。 MongoDB 支持存储结构十分松散的数据,以类似 Json 的 Bson 格式对数据进行组

织,同时由于物联网数据种类繁多,数据格式多样,因此 MongoDB 非常适合于物联网数据的存储。图 1 展示了 MongoDB 的数据组织结构。

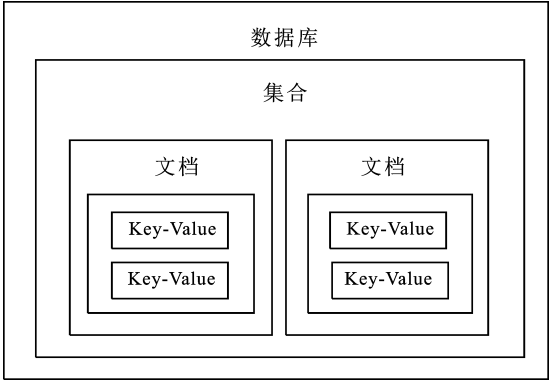


图 1 MongoDB 数据组织结构

2.2 MongoDB 的数据分布式存储结构

MongoDB 是一个分布式的数据库。在 MongoDB 中实现了自动分片机制, MongoDB 可以对数据集进行分片并将分片后的数据块平均分配到 MongoDB 集群的各个节点。在部署切片式的 MongoDB 集群时, MongoDB 集群由路由服务器、配置服务器和分片三部分构成组成。路由服务器是客户端接入集群的前端,客户端通过路由服务器来接入到 MongoDB 集群进行数据读写;在配置服务器上记录着两种映射关系,一种是数据块与切片服务器节点的映射关系,另一种是键值的区间与数据块映射关系;分片由若干分片节点服务器组成用于存储实际的数据,实际的数据被切割成大小相同的数据块存储在分片节点服务器上,每个分片都是一个副本集,副本集具有数据冗余备份功能,并且在多个分片节点服务器上存储了数据副本,这使得 MongoDB 具有很高的数据可用性和安全性。当客户端通过路由服务器接入 MongoDB 集群时,路由服务器通过配置服务器获取实际数据的信息,就能找到实际数据的数据块所在的切片服务器节点从而对数据进行操作。当客户端向集群写入数据时,路由服务器会判断写入的数据是否超出设置的数据块大小,如果超出设置的数据块大小就将数据分成两个数据块存储。

3 Hadoop

3.1 Hadoop 的核心框架介绍

Hadoop 是一个能够将庞大计算任务进行分布式处理的软件框架。 Hadoop 的核心由编程模型 MapReduce 和分布式文件系统 HDFS 两大部分构

成,其中编程模型 MapReduce 为用户提供了数据输入、输出、分区、映射和归约五个可编程的组件,利用这些组件用户可以轻松编写用于处理大数据集的分布式计算程序. HDFS 具有极强的容错机制,能够在低端的服务器上构建高可靠、大容量的分布式文件系统. HDFS 分布式文件系统提供的数据吞吐量很高,切合大数据应用对数据吞吐量和容量的要求. Hadoop 运行时将用户编写的 MapReduce 程序分发 Hadoop 集群中的各个计算节点上运行,并且在 MapReduce 框架中实现了各种容错机制保证整个计算任务的正常进行. MapReduce 处理的数据一般位于 HDFS 上, HDFS 将存入的文件切成大小相同的数据块存储到 Hadoop 集群的节点上,并且将数据块的副本存储到不同的节点上来保证数据的安全性.

3.2 MapReduce 编程模型

MapReduce 是一个并行编程框架,同时也是一个用于处理和生成超大数据集的计算模型的相关实现^[7]. 在 MapReduce 模型中通过创建一个 Map 函数处理基于 key-value 键值对的数据集合,再输出 key-value 键值对集合,然后创建一个 Reduce 函数合并键值对的所有值. MapReduce 编程框架的主要思想就是将超大、超复杂的计算任务进行分割,首先将待处理的数据进行分割,分割后的数据通过 Map 函数映射到不同的区块,给 Hadoop 集群中不同的计算节点进行处理达到分布式运算的效果,然后计算节点将 key 相同的数据发送到同一个节点上通过 Reduce 程序将结果进行整理,最后输出得到的结果. 具体流程如下(如图 2 所示).

- (1)切片,将输入数据切割成大小相等的 M 块.
- (2)分配子任务,Master 节点对集群中可以用于计算的节点进行任务分配,根据数据切片的个数启动 M 个 Map 任务,根据数据中的 key 的数量或者用户的配置启动 R 个 Reduce 任务.
- (3)数据读入,各个节点上的 Map 任务读取文件切片,处理切片中的数据成键值对形式,再使用用户编写的 Map 函数对键值对进行处理.
- (4)本地写入,Map 函数输出的结果最终写入到本地文件系统中. Map 阶段输出的结果根据 key 值被分成了 R 的数据分区,在 Map 阶段完成后,Master 节点将 Map 阶段输出结果的数据信息发送到 Reduce 节点并给 Reduce 节点分配计算任务.
- (5)远程读入,Reduce 节点从 Master 节点获取到计算任务和存储在各个 Map 节点的数据信息后,

Reduce 节点从各个 Map 节点读取计算结果的数据,对 key 相同的数据进行合并.

(6)输出结果,Reduce 节点将合并后的数据按照 key 进行排序,然后相同 key 的数据在同一个 Reduce 节点上执行用户的 Reduce 计算,Reduce 节点,将结果输出到各节点的本地文件系统. 最后用户出现将各 Reduce 节点的输出结果数据进行合并得到最终结果.

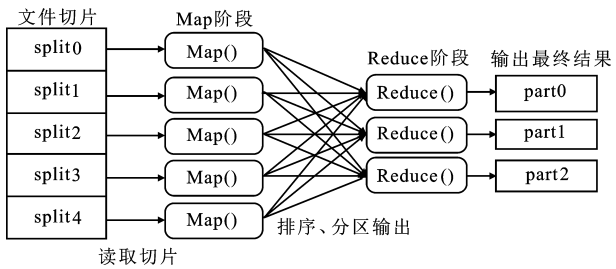


图 2 MapReduce 运行流程

4 基于 MongoDB 和 Hadoop 的海量非结构化数据处理方案设计

Hadoop MapReduce 擅长对海量数据进行分析计算, MongoDB 主要用于对非结构化的大数据进行分布式存储和查询. 本文提出使用 MongoDB 对物联网数据进行存储、使用 Hadoop MapReduce 对物联网数据进行分析计算的方案,系统的整体方案如图 3 所示.

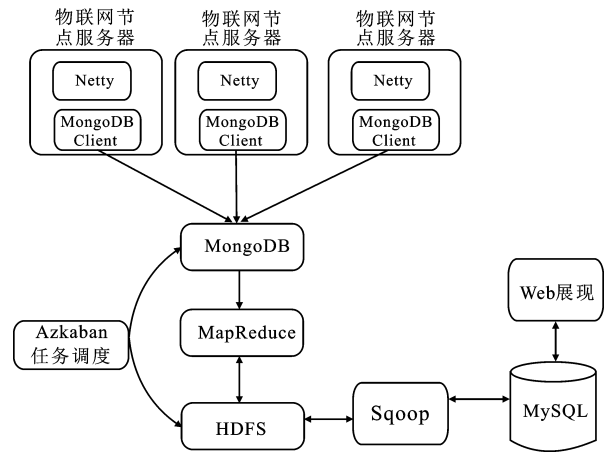


图 3 Hadoop 处理物联网数据整体方案

如图 3 所示,以 MongoDB 作为 Hadoop MapReduce 的数据输入源,其中 MongoDB 和 Hadoop MapReduce 间使用 MongoDB 公司开发的中间件 Mongo-Hadoop-Connector 进行连接. 使用 MongoDB 代替 HDFS 作为 Hadoop MapReduce 的数据

源,在 MongoDB 的集群中物联网数据集被分割成大小相同的数据块,存储在 MongoDB 集群中的分片服务器上。Hadoop Mapper 通过 MongoDB 集群中的路由服务器并行读取存储在切片中的数据块并对读取的数据切片进行分析处理,再通过 Hadoop Reducer 将处理的结果合并并写入到 HDFS,整套系统中以 MongoDB 作为数据源并且以 HDFS 作为处理结果的输出目标,系统具有极大的灵活性和高效性。

如图 3 所示,所有物联网系统接入到各个物联网节点服务器,节点服务器将收到的物联网数据经过预处理后通过 MongoDB Client 写入到 MongoDB 的数据库集群。在 MongoDB 数据库中存储了所有接入的物联网系统的数据,Hadoop MapReduce 以 MongoDB 作为数据源对所有的物联网数据进行处理和分析,将处理后的结果写到 HDFS。

在系统中处理后的数据并没有写回到 MongoDB,而是写到了 HDFS。这样做是因为 HDFS 的数据加载与导出性能明显优于 MongoDB。由于将数据写入到 HDFS 时,只是将最终处理后的结果数据从 Hadoop Reducer 节点的本地磁盘复制到 HDFS,不需要进行数据的格式化和序列化,因此 HDFS 数据写入与读取的性能与数据大小近似呈线性关系。

在方案中最后使用 Sqoop 将 HDFS 中的结果数据导入到外部 MySQL 数据库中,最后使用 Web 将分析处理后的结果进行展示。

4.1 MongoDB 集群的部署方案

在本文中将 MongoDB 配置成分片集群模式保证 MongoDB 集群的高可扩展性和高可用性。MongoDB 的集群配置如图 4 所示,在 MongoDB 的集群中包含路由服务器、配置服务器、切片三种类型的服务器。路由服务器 MongoS 是一个前端路由,客户端由此接入,然后通过配置服务器查询需要读取或写入的数据所在的切片服务器,再连接相应的切片服务器进行读写操作,最后将结果返回给客户端。而这一切对客户端是透明的,客户端不用关心所操作的记录存储在哪个切片上,让整个集群看上去是一个整体。配置服务器是一个 mongod 实例,用来存储所有切片服务器节点的配置信息、每个数据块所对应切片服务器信息、每个切片服务器节点上数据块的分布情况、该集群中所有数据集合与切片服务器节点的对应信息;并且配置服务器存储了整个集群的元数据,元数据中包括每个数据块的信息。切片服务器节点存储实际数据的分片,切片节点可以由是一

个配置服务器构成,也可以是一组配置服务器构成的副本集,切片节点用于存储实际数据切割后的数据块,在实际生产环境中一个切片可由几台机器组成一个副本集来承担,防止主机单点故障。

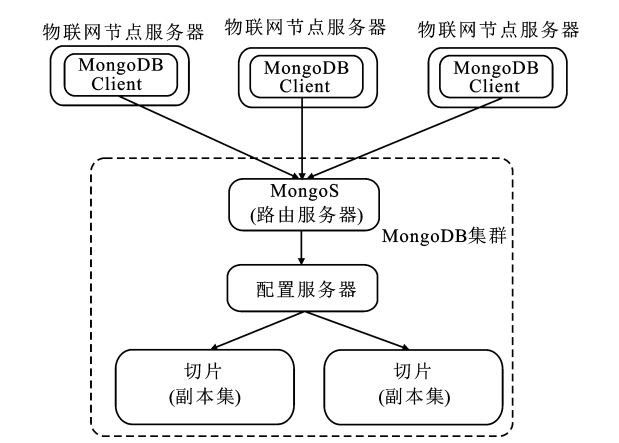


图 4 MongoDB 集群的配置

4.2 MongoDB 与 Hadoop 联合集群的部署

为应对物联网大数据存储和分析计算,MongoDB 集群和 Hadoop 集群的部署方式对整个系统的性能影响非常大。

对集群进行合理的部署可以避免在计算过程由数据传输的瓶颈导致的集群性能受限,通过将待输入数据的数据块放置在计算节点的本地文件系统中,可以让计算节点从本地读取部分待计算的数据,也可以在大量数据通过网络传输到计算节点时避免集群计算效率降低。在文中的 MongoDB-Hadoop 集群的方案中,将 Hadoop YARN 和 DataNode 与 MongoDB 分片服务器重叠部署来实现 MapReduce 从本地 MongoDB 节点读取数据,从而提升了集群运行的性能。

5 性能测试及分析

如表 1 所示,在 6 台服务器上进行 MongoDB-Hadoop 集群的联合部署,其中在 MongoDB 中设置了两个数据切片 shard_a 和 shard_b,每个切片由一个副本集实例构成,将切片 shard_a 和 shard_b 分别部署在 3 台机器上,并配置了一台配置服务器和一台路由服务器。路由服务器就是一个 mongos 的实例,所有的 mongo 客户端通过连接路由服务器接入到 MongoDB 集群。Hadoop 集群具体来说包含 HDFS 和 YARN 两个集群,HDFS 集群负责存储数据,集群主要的角色 NameNode 和 DataNode,其中 NameNode 负责整个 HDFS 集群的调度,DataNode 用于在节点上对数据的存储;YARN 集群主要是对

计算资源的分配和管理,主要角色有 ResourceManager 和 NodeManager,ResourceManager 负责对整个集群计算资源的分配和任务的分发,NodeManager 负责管理本机的计算资源以及执行 ResourceManager 分配的任务.

表 1 Mongo-Hadoop 联合部署方案

服务器	Mini1	Mini2	Mini3	Mini4	Mini5	Mini6
Hadoop	Name Node	Resource Manager	Secondary Node			
	Data Node	Data Node	Data Node	Data Node	Data Node	Data Node
	Node	Node	Node	Node	Node	Node
	Manager	Manager	Manager	Manager	Manager	Manager
shard_a			shard_b			
MongoDB		配置 服务器	路由 服务器			

为了对本方案的可扩展性、高可用性、数据存储性能和数据处理性能进行测试,设计了以下三个实验.

(1)可扩展性和高可用性实验,使用两台物联网数据节点不停向 MongoDB 集群中写入数据,当集群的存储空间用完时,停止 MongoDB 集群,向集群中新加入两台部署 MongDB 的服务器,并将新加入的两台机器写入到切片 Shard_a 和切片 Shard_b 的配置文件.重新启动 MongoDB 集群,集群的总容量增加,并且增加的容量为两台机器的总磁盘空间.实验中集群可以通过增加服务器来实现存储性能和计算性能的横向扩展,验证了平台的高扩展性和高可用性.

(2)数据存储性能测试,验证 MongoDB 具有较高的数据压缩性能,与 HDFS 和 MySQL 相比能够节省磁盘资源.设置 Hadoop-Mongo 集群中的 MongoDB 和 HDFS 的副本数量都为 1,将文件大小不同的 4 个物联网数据分别存入 MySQL、HDFS 和 MongoDB,观察集群磁盘的占用情况,其结果如图 5 所示.由测试结果可以看出,使用 MongoDB 存储物联网数据时,与关系型数据相比能够极大地节约存储资源,具有很高的存储性能.

(3)对物联网数据分析处理的性能测试,分别使用 MongoDB 和 HDFS 作为数据的输入源,使用 Hadoop MapReduce 对数据进行分析处理,统计执行时间,其结果如图 6 所示.由测试结果可以看出使用 MongoDB 作为 Hadoop MapReduce 的数据输入源时处理速度略逊于将 HDFS 作为数据输入源的

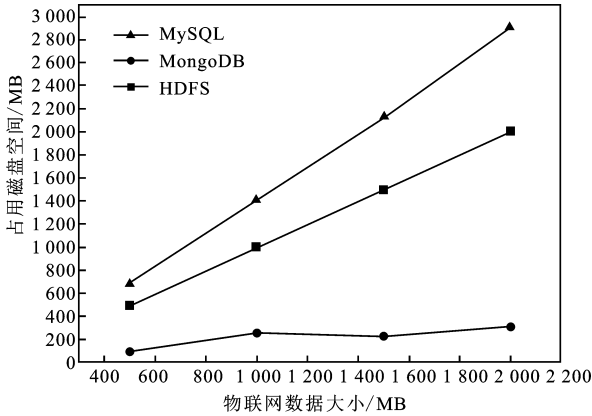


图 5 MySQL、HDFS 与 MongoDB 磁盘占用对比

情况,但与关系数据库 MySQL 作为输入源相比仍具有较高的处理性能.

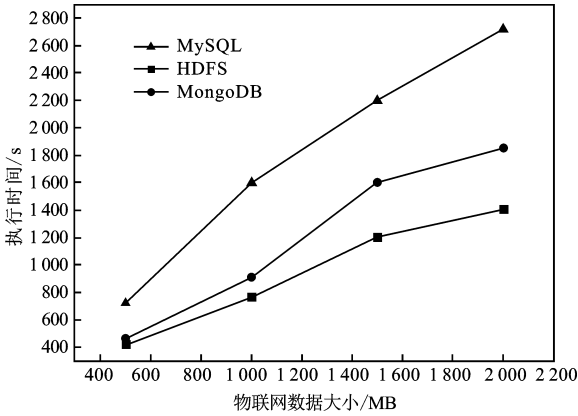


图 6 MySQL、HDFS 与 MongoDB 处理速度对比

6 结束语

针对种类繁多、数据量极大和结构复杂的物联网数据的存储和计算问题,在使用 MapReduce 进行大数据处理的基础上,提出了一种基于 Hadoop 和 MongoDB 的联合集群方案专门用于物联网数据的存储管理和分析计算.实验表明该方案具有高可扩展性和高可用性,能够高效地存储物联网数据,节约磁盘资源,同时对于物联网数据具有较强的分析计算能力.

参考文献:

[1] 曾强, 缪力, 秦拯. 面向大数据处理的 Hadoop 与 MongoDB 整合技术研究[J]. 计算机应用与软件, 2016,33(2):21-24.

[2] 何倩, 陈亦婷, 董庆贺, 等. 基于 MongoDB 的物联网接入云服务平台[J]. 桂林电子科技大学学报, 2017, 37(1):1-7.

[7]

王明亮, 闵新力, 薛君志. 基于改进人工鱼群算法的 WSN 覆盖优化策略[J]. 微电子学与计算机, 2015, 32 (6): 78-81.

[8]

刘洲洲, 王福豹, 张克旺. 基于改进萤火虫优化算法的 WSN 覆盖优化分析[J]. 传感技术学报, 2013, 26(5): 675-682.

[9]

穆天圆, 乔学工, 张敏. 基于 Voronoi 图的蜂群优化算法在 WSN 覆盖中的应用[J]. 传感技术学报, 2015, 28 (10): 1525-1530.

[10]

吴成东. 智能无线传感器网络原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[11]

周剑波, 刘宏立, 徐琨. 一种结合粒子群和虚拟力的动态节点部署策略[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52 (10): 118-123, 156.

[12]

温正. 精通 MATLAB 智能算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.

作者简介:
崔丽珍 女, (1968-), 硕士, 教授. 研究方向为无线传感器网络、宽带无线通信.
李晓宇(通讯作者) 女, (1991-), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络覆盖控制优化算法.
E-mail: 1527171123@qq.com.
胡海东 男, (1978-), 博士, 讲师. 研究方向为无线传感器网络覆盖与节点部署.
史明泉 男, (1981-), 硕士, 讲师. 研究方向为无线传感器网络、DSP.

(上接第 72 页)

[3]

李伟. 大数据下的 NoSQL 数据库技术分析[J]. 信息通信, 2014, 28(7): 72-73.

[4]

李秋虹. 基于 MapReduce 的大规模数据挖掘技术研究[D]. 上海: 复旦大学, 2013.

[5]

辛晓越. 文档型数据库的存储模型设计和研究[D]. 广州: 中山大学, 2015.

[6]

苏婵. 非关系型数据库及在文档库管理平台中的研究与应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2014.

[7]

安永辉. 基于 MapReduce 的文本处理算法的研究与应

用[D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2013.

作者简介:
杨 鹏 男, (1980-), 博士, 高级工程师. 研究方向为下一代移动通信技术、无线泛在网络、下一代互联网理论与技术.
林俊晖(通讯作者) 男, (1992-), 硕士研究生. 研究方向为无线泛在网络、下一代互联网理论与技术、物联网大数据处理. E-mail: 297876621@qq.com.