

# 数据层可配置任务生成方法及其应用研究

刘明铭, 程仁洪

(南开大学软件学院, 天津 300071)

**摘 要:** 为提高数据层的任务处理性能, 提出一种可配置任务生成方法。通过分析数据库运行日志和跟踪信息, 按照负载时空特性生成数据层任务处理脚本, 并获取对应的资源消耗模式和关键任务处理性能。测试结果表明, 该方法可以模拟实际应用系统的执行情况, 由此获得服务器资源占用率, 该资源占用率与实际资源占用率之间的误差可线性消除, 为数据库服务器容量规划、存储结构设计、关键功能设计、性能优化, 以及云计算平台资源实现和计算能力按需优化配置提供依据。  
**关键词:** 负载特性; 资源消耗; 承载能力; 容量规划; 资源整合; 数据与计算双重密集型任务

## Research on Generation Method for Configurable Task of Data Layer and Its Application

LIU Ming-ming, CHENG Ren-hong

(College of Software, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**【Abstract】** In order to improve the task processing performance of data layer, this paper presents a method to generate the tasks. The scripts of tasks are generated in accordance with the load characteristics or special requirements. By analyzing database running log and trace information, it gets the data processing tasks corresponding resource consumption patterns and processing performance. Test results show that this method can simulate the practical application of the system implementation, thus accesses to server resources occupancy linear eliminate the error between the acquired resources occupancy rate and the actual resources occupancy. This data can provide the basis for cloud computing platform to achieve optimal allocation of resources and computing power in accordance with the demand, and provide a basis for capacity planning of the database server, the storage structure design, the key features of the design and performance optimization.

**【Key words】** load characteristic; resource consumption; carrying capacity; capacity planning; resource integration; data and computing double intensive task

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2013.04.007

### 1 概述

数据库应用系统是数据和任务密集型系统, 由于系统外部负载时空特性变化范围大、内部结构复杂、数据传输量大、任务处理具有非线性强耦合的特点, 因此数据库服务器的容量、数据库结构、存储结构和配置直接影响数据层处理性能。

近年来出现的云计算技术能够为数据与计算双重密集型任务的处理提供系统的解决方案。云计算是一种基于网络互连的计算系统, 这个系统具有很强的伸缩性和可定制性, 向上层的用户提供计算服务<sup>[1]</sup>。获取系统外部负载特性、关键资源消耗模式、数据库平台的承载能力、关键任务处理性能, 可以为数据库结构与调整、存储空间大

小和位置确定、大表分区设置、索引建立、环境配置和性能优化等提供依据, 为数据库服务器容量规划、存储结构设计、关键功能设计和性能优化提供依据, 建立容量合理的数据库软硬件平台, 优化系统资源平台配置, 避免软硬件的过度投资和零散投资的浪费, 可提高平台的利用率<sup>[2]</sup>, 为云计算平台实现资源和计算能力按照需求优化配置及动态调整提供依据<sup>[3]</sup>。

为获取数据处理任务对应的资源消耗模式和处理性能, 本文通过对 Oracle 数据库系统上实际运行的几个应用系统的日志文件和跟踪文件的分析与抽取, 获取与特定负载特性对应的业务或功能及其组合的等价数据库任务脚本, 自动生成关键任务的可配置测试用例。

## 2 数据层可配置任务定义及生成平台架构

### 2.1 数据层可配置任务定义

数据层可配置的任务是以实际运行系统中数据库真实运行脚本为蓝图生成的模拟任务。实际系统中数据层可配置任务如图 1 所示。

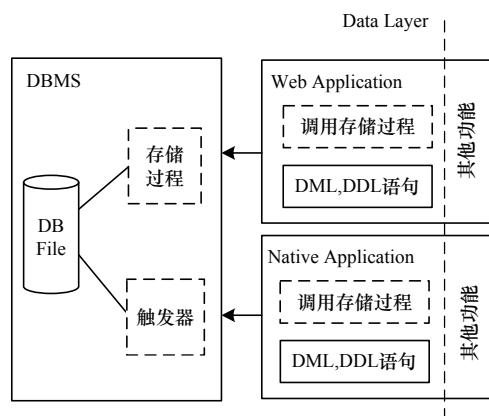


图 1 实际系统中的数据层可配置任务

在图 1 中，虚线框为数据层可配置的任务，除了应用层的各种需要调用存储过程所实现的功能，还包括数据库服务器端的存储过程、触发器以及其他可调用的应用。

模拟任务运行的核心为数据库运行脚本。由于软件结构不同，数据处理任务部分来源于前台程序中静态完整的 SQL 代码或动态生成的 SQL 代码，部分来源于后台存储过程、函数和触发器等运行时的静态或动态 SQL 代码，其等价的最终任务处理代码、时间和空间信息可以在运行日志、跟踪文件中记录，时间信息中包含了用户操作过程中的动作和思考时间。

本文依据数据库运行日志和跟踪信息，通过自动关联分析和信息转换处理，按照负载时空特性<sup>[4-7]</sup>、业务和功能的多粒度、资源消耗特性和边界极限情况等特殊配置要求，自动灵活按需生成数据任务处理的测试脚本，在数据库平台上可以重复执行脚本，获取数据处理任务对应的资源消耗模式和处理性能。在测试过程中，利用实际系统运行过程或针对性的功能测试过程中的数据库运行日志和跟踪信息，实验验证了该处理任务生成方法的有效性。通过分析数据库应用系统之间的负载特性、业务类型和容量、数据存储模式、操作模式、数据传输模式等相似性可知，本文方法对于新系统的规划设计和优化配置具有借鉴作用。

### 2.2 可配置任务脚本生成平台架构

可配置任务生成平台架构如图 2 所示，该平台包括负载信息获取模块及负载信息分析。通过对数据库操作历史分析获取等价 SQL 语句，形成真实的测试方案。平台可以在同等类型服务器上运行测试方案用以检测操作历史 SQL 的操作方案是否可以优化，平台参考了面向服务的可信软件体系结构代数模型<sup>[8]</sup>并适量增加服务器负载测试数据库服务器的负载能力。

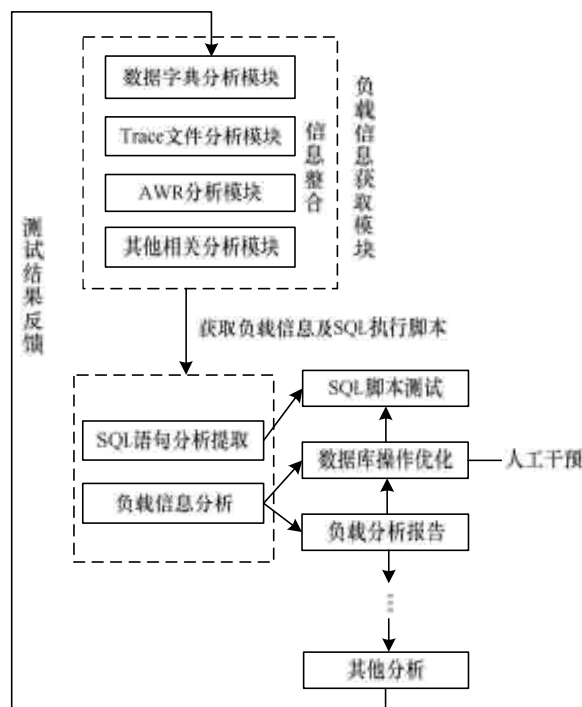


图 2 可配置任务生成平台架构

## 3 基于 Oracle 的数据层任务获取方法

目前，用于数据库性能测试的方法和工具种类有很多<sup>[9]</sup>，主要包括：(1)数据库管理系统工具，如 Oracle Tkprof、AWR(Automatic Workload Repository)、ASH(Active Session History)等；(2)数据库测试基准工具，用标准测试集测试比较不同数据库平台性能，如 TPC-C Benchmark；(3)简单的数据库测试工具，如 Benchmark 支持 Mysql、DB2、Sybase、Oracle 等数据库类型；(4)软件性能一体化测试工具，如 LoadRunner 和 Apache JMeter 等；(5)自编程测试工具，如 Java 应用。

数据库系统性能测试存在的基本问题是：(1)一般选择数据库关键处理任务或主要场景，并简化处理流程，不能对完整的处理任务和真实负载进行测试；(2)测试工具中可以编制关键场景处理任务的脚本，但灵活性和针对性较差，难以对各种环境及处理任务的多种和复杂组合情况进行实验分析；(3)测试脚本生成不能实现自动化。本文根据实际应用，分析数据层可配置任务的执行规律，系统运行及负载规律自动生成测试脚本<sup>[10]</sup>。

### 3.1 信息源及其解析方法

需要重现的数据库操作分为以下 2 种类型：

(1)重现数据库应用系统一个周期的操作，以达到测试和优化的目的。

(2)选择重现资源消耗量大的某一个时间段，达到强化测试以及选择性优化的目的。

在进行重现任务执行时，首先选择需要重现的时间区间。在进行模拟重现时以归档日志中数据库操作记录 SQL 语句为重现方法。

对大的时间周期可选择重要的操作过程进行重现。例如: 教学教务管理系统中以学期初和学期末为重点重现时间区间。其余时间段以简单查询为主。可以选择不进行重现。重现标准可以选择在某一周的时间周期内系统资源占用率比较高的时间区间, 也可以根据应用系统的实际操作流程人工选择某一个时间区间。

### 3.2 负载特性和任务脚本获取

负载特性在设计阶段可以通过 UML 设计文档获取。获取来源包括: 用例图, 类图以及顺序图。其中, 功能执行频率根据需求分析中功能发生的概率进行推算。在项目维护阶段可以通过对数据库服务器状态以及执行内容的录制来获得。

以 Oracle 数据库服务器为例, 对于数据库服务器负载特性一般使用 2 种方式来获取:

(1)分析跟踪文件的方式来进行获取, 也可以通过使用 Tkprof 分析数据库系统形成的事件跟踪文件来实现。

(2)使用 Oracle Management Server 在其他计算机上记录跟踪文件。跟踪文件的获取可以在服务器性能允许的情况下选择在 database 级别上设置事件跟踪。

第(2)种方式对于应用系统的正常使用影响较小, 但是需要占用其他机器进行信息记录。这 2 种方式记录跟踪的内容不一样, 在性能允许的情况下可以全部记录, 从而为后面的分析提供更准确的信息。使用第(1)种方式需要记录的信息为 processsate 事件: dump 进程状态; heapdump 事件: dump PGA, SGA, UGA 中的信息。使用第(2)种方式需要记录的信息为性能情况以及 CPU、I/O 占用率。

通过系统日志文件和跟踪文件分析或抽取方法, 获取与业务或功能及其组合的等价数据库语言脚本, 分析真实负载时间和空间分布特性, 人机交互动作及思考时间分布特性。在测试过程中, 可以利用实际系统运行过程或针对性的功能测试过程中的数据库运行日志和跟踪信息。

系统日志文件获取增、删和改操作脚本、任务操作时间和空间分布。

跟踪文件获取查询操作脚本、任务操作时间和空间分布。执行计划获取资源消耗和执行代价包括: 资源消耗, 性能特性等。

### 3.3 可配置任务加载模型

在实际应用系统中, 数据库服务器的负载可以通过以下形式进行表达:

**定义 1** 数据库中存储的数据关系集合表示为:

$$\{R_i | r_1, r_2, \dots, r_n\}$$

**定义 2** 应用系统中用户的集合表示为:

$$\{U_i | u_1, u_2, \dots, u_n\}$$

该用户非数据库系统用户应为应用系统用户, 用户信息存储在数据库信息表中。

**定义 3** 数据库中需要执行的任务集合表示为:

$$\{F(R)_i | f(R)_1, f(R)_2, \dots, f(R)_n\}$$

**定义 4** 任务执行频率特征函数表示为:

$$\{A(R)_i | \alpha(R)_1, \alpha(R)_2, \dots, \alpha(R)_n\}$$

不同任务执行频率表现出不同的特征。

**定义 5** 数据库中可配置任务的负载特性表达为:

$$\{L(t)_i | l(f, r, u, \alpha)\}$$

其中,  $\alpha$  为该用户任务执行的频率特征函数, 不同用户之间存在并发可能。

## 4 应用实例

### 4.1 测试任务及脚本生成

以实际运行的某高校教务管理系统为例, 提取具有代表性的期末 10 天的数据库操作数据。选取该周期内操作次数及执行时间最长的前 20 个数据库端任务, 执行情况如表 1 所示, 每个 SQL\_ID 代表一个功能的 SQL 脚本。但是具体执行参数根据实际运行情况不同。在生成测试脚本时该参数采用配置表的方式进行实现。

表 1 代表时间段的数据库端任务执行情况

执行时间最长的 SQL 语句		执行频率最高的 SQL 语句	
SQL_ID	该时段的执行总时长/ $\mu$ s	SQL_ID	该时间段执行次数
8dh8xhdquv0vw	27 703 423 915	0f9w7abgp6p8w	7 634 957
adnp4uq43fpm3	20 038 468 606	adnp4uq43fpm3	5 240 141
8zr7hbxn2qwwl	5 653 438 469	ccpnvp3c7wwsp	3 306 027
fh71kfkq530fa	5 096 153 230	dpv955fj1zyy9	3 190 996
4mpu0jyv8v7td	1 842 557 665	6wtscd98r9q53	3 106 928
a0yrrgd4zpuzg	1 568 412 813	gc3thxu9dg914	3 069 855
6zww7fz8f051z	1 458 230 472	52ct3rdw6by03	2 588 063
2z98cpn060caf	1 346 592 060	fh71kfkq530fa	2 512 798
afxk2fx46v57p	1 305 671 216	lnz4kq3y73y91	2 190 704
7z4s21bhgh0c9	11 17 419 835	8dh8xhdquv0vw	2 166 205
8q6jn88q5q6y1	1 061 590 350	fw39fuy30qyyv	2 069 736
83jc5g9969u35	1 017 813 513	bk4ag6xbdm8jp	2 061 793
4sc7nrsspf81	1 005 273 444	0jgvawm18gz0k	1 252 227
0ya7a41mpwjy2	988 082 230	cu8nu6j2hzh0x	1 152 789
7z57pyv7nnpuj	962 557 931	4spuf9p1chx2u	980 106
f05mdgbg1qs5k	924 904 346	g309qt6fnxfky	868 422
4328476019y5b	923 269 857	b449qnad4zkqz	847 980
66jvyw8nrjpnh	801 123 203	2s2k65htfkg0	811 694
300wcr16mt2z	780 526 368	b7uhz1luq2bqps	671 656
gc7w03hgd4zgh	749 626 313	ftund25c4p13	614 388

选取这 2 种标准中相同的任务作为分析样本, 并分别在 2 种标准中选择 3 个除交集以外的任务作为分析样本。共选择 9 个任务作为重点分析的样本任务。如表 2 所示, 功能主要分布在学生选课、成绩单打印、教学计划管理等数据及运算密集型的任务类型上, 符合实际系统运行情况。

表 2 选择的样本任务

任务类型	SAMPLE_ID	SQL_ID	执行时间/ $\mu$ s	执行次数	功能描述
执行时间与执行次数均在前 20 的任务	1	8dh8xhdquv0vw	27 703 423 915	2 166 205	学生选课
	2	adnp4uq43fpm3	20 038 468 606	5 240 141	确定课程的课程类型
	3	fh71kfkq530fa	5 096 153 230	2 512 798	确定课程的课程类型
执行时间除上面列出以外前 3 的任务	4	8zr7hbxn2qwql	7 145 893 258	80 653	成绩单打印
	5	c9uk5068gyuhy	3 499 134 854	24 728	取学生数量
	6	4mpu0jyv8v7td	1 726 488 691	2 856	取教室占用信息
执行次数除上面列出以外前 3 的任务	7	0f9w7abgp6p8w	202 343 416	7 634 957	选选课序号
	8	ccpnvp3c7wwsp	547 764 567	3 306 027	取教学计划课程数目
	9	dpv955fj1zyy9	196 187 609	3 190 996	课程是否在教学计划

任务执行频率分布如图 3 所示,其中, SAMPLE\_ID 为 1、2、3、7 属于选课或选课的衍生任务,它们具有相同的频率分布,属于阶段性任务,也就是存在于选课开放的时间周期。S SAMPLE\_ID 为 8 和 9 的任务为教学计划信息获取,为平日任务,其执行频率分布比较均匀(0625 为选课后的第 1 个工作日,执行频率稍高),符合实际执行特征。其余 SAMPLE\_ID 为 4、5、6 的属于占用较高的 CPU 资源,但是执行频率与其他任务相比较低。在图 3 中几乎重合,局部放大频率执行如图 4 所示。

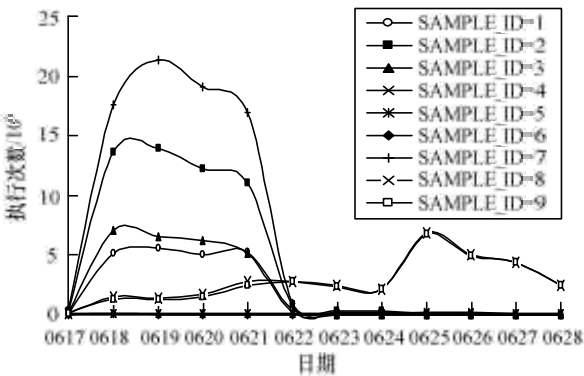


图 3 样本 1~样本 9 的任务执行频率分布

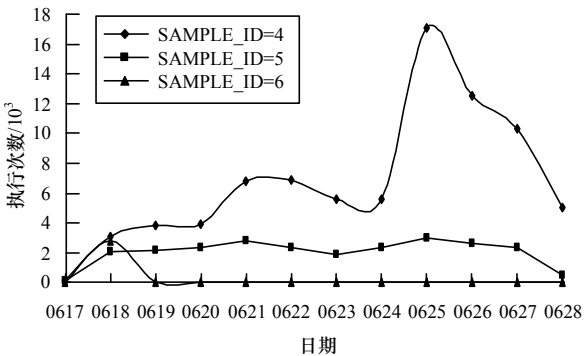


图 4 样本 4~样本 6 的任务执行频率分布

任务 4(成绩单打印)、任务 5(获取学生数量)符合日常执行特征,任务 6(获取教室占用情况)根据日志分析为其他系统发起的定期导出教室占用信息。该任务比较集中,并具有基本固定的执行时间。

根据对任务执行频率的分析,对应用系统重点周期(本示例为期末)内的任务执行频率设定为下面公式所描述的 2 类特征频率函数。

$$\alpha(R)_n = \lambda_n, \lambda \in A \tag{1}$$

$$\alpha(R, T)_n = \begin{cases} 0 & T \in [t_1, t_n] \\ \lambda_n & \lambda \in A, T \in [t_1, t_n] \end{cases} \tag{2}$$

其中,  $A$  为频率特征变量集合;  $T$  为特殊的时间段,该时间段中的任务执行频率为  $\lambda$ 。根据应用系统的实际执行频率为不同任务设定的不同执行频率。以此函数作为特征脚本执行频率特征,并根据任务占用 CPU 时间进行时间轴压缩,即使用 CPU 占用最高的 SAMPLE\_ID 为 1 的任务,取其执行任务占用 CPU 均值(9 196  $\mu$ s)作为整体的执行时间,生成执行脚本。

4.2 数据层可配置任务测试平台框架

数据层可配置任务测试平台框架采用如图 5 的可配置任务测试框架,由任务分发器根据数据库性能体现动态配置任务的执行位置,如数据服务器端或者 Web 服务器端。而任务分发器具有可扩展的决策器,为以后决策算法扩展准备。在本次实验中任务默认全部分发到数据库服务器上。

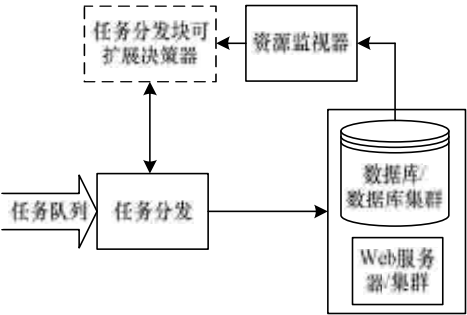


图 5 数据层可配置任务测试平台框架

4.3 实验方案及结果分析

软硬件环境:实验由 1 台客户端(Application Client)模拟任务产生,1 台主机(Database Server)作为数据库服务器,主机间采用 100 Mb/s 局域网连接,具体如表 3 所示。执行任务选择 4.1 节中选出的 9 个任务,根据实际执行频率进行时间压缩,数据库中相关表的数据量根据相应比例进行压

缩, 压缩比定为 1 : 60, 相当于 1 天的执行频率压缩到 24 min。

表 3 实验软硬件环境

用途	硬件配置	操作系统	软件环境
DB Server	Lenovo M5100t; AMD PhenomII X4 810 2.6 GHz; 4 GB 内存	64 位 Solaris10	Oracle 11g RAC
Client	Lenovo M5100t; AMD PhenomII X4 810 2.6 GHz; 4 GB 内存	Windows7	脚本执行 工具
Router	D-Link DGS-1008D	内置	内置

选取日期为 0618 的数据按照实际执行频率执行, 得到服务器每分钟的 CPU 占用率与实际服务器每小时 CPU 占用率对比, 如图 6 所示, 测试脚本能够模拟实际应用系统执行情况, 之间的误差几乎是线性可消除的误差。

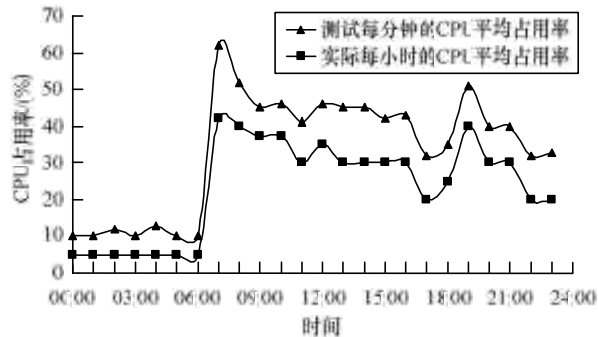


图 6 实际与测试数据库服务器 CPU 占用率对比

5 结束语

自动生成数据层任务处理脚本可以在运行环境下全面快速测试原系统资源消耗和运行性能特性, 为原系统数据层处理性能的优化, 独立实体物理环境和统一虚拟逻辑环境下的方案设计, 以及新系统的整体系统平台设计提供依据。本文方法获取的测试数据还可为后续决策分析、策略

设计和资源动态调整提供基本分析依据。

参考文献

[1] 杨志豪, 赵太银, 姚兴苗, 等. 一种适应数据与计算密集型任务的私有云系统实现研究[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(2): 622-624.

[2] 王玉峰, 王怀民, 刘必欣. 多层服务器集群容量规划启发方法研究[J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(5): 96-98.

[3] 郑 湃, 崔立真, 王海洋, 等. 云计算环境下面向数据密集型应用的数据布局策略与方法[J]. 计算机学报, 2010, 33(8): 1472-1480.

[4] 杨 伟, 朱巧明, 李培峰, 等. 基于时间序列的服务器负载预测[J]. 计算机工程, 2006, 32(19): 143-145.

[5] 吕林涛, 王 鹏, 李军怀, 等. 基于时间序列的趋势性分析及其预测算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(19): 208-211.

[6] Arbab F. Abstract Behavior Types: A Foundation Model for Components and Their Composition[J]. Science of Computer Programming, 2005, 55(1-3): 43-52.

[7] Adams E J. Workload Models for DBMS Performance Evaluation[C]//Proc. of the 13th ACM Annual Conference on Computer Science. New Orleans, USA: ACM Press, 1985.

[8] 赵会群, 孙 晶. 面向服务的可信软件体系结构代数模型[J]. 计算机学报, 2010, 33(5): 890-898.

[9] 杜庆峰, 张卫山. Oracle 的中大型应用系统性能优化分析[J]. 计算机工程, 2005, 31(14): 91-93.

[10] 谢晓东. 基于模型比较的软件测试用例生成方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.

编辑 陆燕菲

(上接第 21 页)

[4] 廖明华, 张 华, 王 东. 基于 LEACH 协议的簇头选举改进算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(7): 112-114.

[5] 张 品, 姜亚光, 陈 磊. 基于加权优化选择两级簇头的 WSN 路由协议[J]. 传感技术学报, 2011, 24(3): 447-451.

[6] Wu Tao, Biswas S. Reducing Inter-cluster TDMA Interference by Adaptive MAC Allocation in Sensor Networks[C]//Proc. of the 6th IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks. Michigan, USA: [s. n.], 2005.

[7] 龚海刚, 刘 明, 王晓敏. TLTS: 大规模无线传感器网络下基于簇的两级 TDMA 调度协议[J]. 计算机研究与

发展, 2007, 44(1): 71-77.

[8] 庄 熊, 杨永明, 丁 唯, 等. 一种消除无线传感器网络簇间干扰的 TDMA 协议及实现[J]. 传感技术学报, 2009, 22(8): 1186-1191.

[9] Waharte S. Performance Comparison of Distributed Frequency Assignment Algorithms for Wireless Sensor Networks[C]//Proc. of IFIP International Conference on Network Control. Los Alamitos, USA: [s. n.], 2004.

[10] Nar P C. PCSMAC: A Power Controlled Sensor—MAC Protocol for Wireless Sensor Networks[C]//Proc. of the 2nd European Workshop. Istanbul, Turkey: [s. n.], 2005.

编辑 任吉慧



