

A MAC Framework Based on Task Composition Algorithm in WSN*

LI Qing, XIONG Qingxu*

(School of Electronic and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the concept of semantic communication, a novel application-oriented task composition algorithm is proposed for Wireless Sensor Networks (WSNs). A united WSN MAC framework is discussed by involving the algorithm with WSN MAC protocols. The prototype by introducing the framework to IEEE 802.11 MAC and S-MAC are investigated respectively. Simulation results demonstrate that the improved MAC protocols could effectively decrease the average energy consumption and time delay, especially for a WSN sensing multi-kind of information.

Key words: WSN; task composition algorithm; application-oriented; MAC

EEACC: 7230 doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2012.011.012

基于任务组合的无线传感器网络 MAC 协议框架*

李 晴, 熊庆旭*

(北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100083)

摘 要: 基于无线传感器网络 WSN (Wireless Sensor Network) 语义互连思想, 讨论了面向应用的 WSN 任务组合的基本概念、任务关系及任务组合递归算法。将任务组合方法与现行 WSN 一般性 MAC 技术相结合, 提出了基于任务组合的通用的 WSN MAC 框架。将该框架应用于具有代表性的 WSN MAC 中, 具体分析了 IEEE 802.11 MAC 和 S-MAC 在该框架中的实现方式。网络仿真结果显示, 基于语义互连采用任务组合方式的 MAC 协议框架, 能有效地改进一般 MAC 的能耗特性及时延特性, 尤其是对于多信息采集的 WSN。

关键词: WSN; 任务组合算法; 面向应用; MAC

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2012)11-1527-06

WSN 媒介访问控制 (MAC, medium access control) 决定了无线信道的使用方式。它在传感器节点之间分配有限的无线通信资源, 用来构建传感器网络系统的底层基础结构, 是决定网络性能的重要基础性环节^[1]。

目前 MAC 协议研究的关键问题之一是如何降低节点能耗^[2-4]。以 802.11 MAC 和 S-MAC 为代表, 较早的研究思路为通过引入虚拟载波监听机制, 减少碰撞重传及串音等造成的能耗; 通过引入节点休眠机制, 大大降低节点空闲监听能耗。之后以事件驱动^[5] (event-driven) 的 Sift MAC 及 CC-MAC 为代表, 研究思路转向利用不同节点数据之间的相关性, 减少冗余数据发送, 从而达到降低能耗的效果。但这些研究都未给出具体可操作的实现方法。例如 Sift 没有明确说明哪些节点能够代表事件, CCMAC 中用于相关半径中的事件模型过于简单, 不足以描

述 WSN 复杂的应用。

近几年来, 也有一些研究开始探索基于 WSN 应用语义的 MAC 设计方法^[6-11] 或跨层 MAC 设计^[12], 试图在协议中增加应用相关信息以提高网络性能。尽管这些研究结果对能耗性能有一定的改善, 但其仍然沿用了传统网络端到端的传输思想, 没有将应用本身作为基本传输单元和处理依据, 只是将语义作为数据处理的一个要素对待。对于以协同合作面向具体应用以及节能为主要特点的无线传感器网络, 基于端到端数据传输的 MAC 不仅未能体现网络自身特点, 而且由于节点缺乏对应用信息的理解, 造成了不必要的数据传输和处理开销, 降低了网络性能。

从面向应用的语义互连思想来看, WSN MAC 执行过程就是任务的组合过程, 即传感器节点通过对任务信息的描述和判断, 决定如何使用信道传输子任务到上层节点继而进行任务整合。此时, 所有

的网络节点都看成处于不同层次的 sink (汇聚) 节点,而原来网络中的 Sink 节点所需实现或完成的具体任务及要求,被分解为不同层次的子任务,由相应的子 sink 来实现或完成,最后组合实现或完成原来网络中 Sink 的应用功能。每个节点通过对任务的描述和任务组合规则,对将要完成的任务以及所在环境的信息进行解释,从而使节点在传输数据之前,针对具体应用的语义对数据做出相应的处理。

本文首先讨论面向应用的任务组合方法,包括任务组合的表示、任务关系及递归算法。然后将该方法融入一般的 WSN MAC 协议中,给出通用的基于任务组合的 MAC 协议框架。最后通过理论分析和模拟仿真,结果显示应用本框架可以在节点能耗及网络效率上获得更好的性能。

1 任务组合方法

基于面向应用的任务组合思想,MAC 协议设计需要考虑待发或转发的数据对于应用任务完成是否必要,是否已经收集到足够的信息以便完成网络任务或子任务,是否有邻居节点完成的任务中包含了自身完成的任务,邻居节点的任务与自身的任务对于网络总任务的完成有无执行顺序的先后关系等。这涉及任务的描述、任务关系的判断、任务执行顺序的确定以及如何递归的计算出可以组合完成总任务的一组子任务的问题。下面逐一进行讨论,具体数学讨论参见附录。

1.1 任务的描述

无线传感器网络的应用任务可以表示成一组与总任务相关的子任务的集合^[13-14],每个任务可以使用任务执行结果集和前提条件集来描述,通过形式化推理来获得任务组合序列,以确定需要哪些子任务,再从各个传感器节点搜寻,找到能够完成任务的节点。

不失一般性,我们对任务及任务组合描述如下:

$$S \equiv (P, E) \quad (1)$$

$$S \equiv \text{compose} \{s_1, s_2, \dots, s_n\} \quad (2)$$

其中, S 表示任务名; P 是有限集合,表示完成任务 S 所需满足的条件; E 是有限集合,表示任务执行后的结果; s_1, s_2, \dots, s_n 是 P 中所有元素的任务表示。由于 S_2 可以继续划分为多个任务的组合,因而多个任务组合问题可以看成是两个任务组合的迭代问题。

1.2 任务的关系

任务的组合问题的一个关键点在于确定子任务之间的关系,以便节点明确哪些任务先执行,哪些任务的执行需要依赖于其它任务的执行结果,哪些任务

与已执行任务的结果是相同的等等。假设 S_i, S_j 是子任务,则 S_i, S_j 的一般性关系为顺序无关和顺序相关。顺序无关表示在任务组合时无执行顺序的要求。顺序相关可以分为等价、可替换(包含)和前件关系。

(1) 顺序无关

对于任务 S_i, S_j ,若其在整个任务环中的执行结果和其执行的先决条件无关,则称任务 S_i, S_j ,顺序无关,记为: $S_i + S_j = S_j + S_i$ 。

(2) 顺序相关

顺序相关又分为等价、可替换(包含)和前件关系。

等价:对于任务 S_i, S_j ,若满足 S_i 的前提执行的结果和 S_j 的执行的执行结果一样,同时又有满足 S_j 的前提执行的结果和 S_i 的执行结果一样,则称任务 S_i, S_j 等价,表示两个任务具有相同的功能,但可能存在质量层面的区别,记为: $S_i = S_j$ 。

可替换(包含):对于任务 S_i, S_j ,若 S_i 的执行结果中任意一个都可以 S_j 的执行结果中找到,则称任务 S_i 可被任务 S_j 替换, $S_i \leq S_j$ 。例如,查询道路能见度信息任务允许被替换为查询道路气象信息任务。

前件:对于任务 S_i, S_j ,若 S_i 的执行结果是 S_j 的执行前提条件,则称任务 S_i, S_j 满足前件关系, S_i 是 S_j 得前件,表示一个任务的执行必须在另一个任务执行之后才能执行,记为: $S_i \rightarrow S_j$ 。例如,车辆是否安全驾驶的监测任务要以获知路况信息及气象信息为前提。

1.3 任务顺序的判断规则

节点如何根据任务间的关系判断任务执行的顺序关系到任务向上组合的时空、逻辑有效性的问题,只有在恰当的时候传输恰当的任务才能在保证总任务完成的情况下性能最优。下面给出任务顺序的判断规则,如表 1 所示。

表 1 任务执行顺序判断规则

任务关系	顺序执行规则
等价	随机选取其中之一完成,取消另一个任务的执行;
可替换(包含)	选择完成内容较多的任务,取消另一个任务的执行;
前件	先完成前件任务,并将结果发送至依赖任务所在节点,再完成依赖任务;
无关	随机选取其中之一作为首先完成的任务,接着完成另一个。

1.4 任务组合递归算法

通过子任务的顺序关系判定,我们可以按照任

务先后关系规划任务组合。由于要实现的子目标往往需要有若干前提条件的限制,为了使这些前提条件得到满足,又产生一些新的更小的子目标,直到每个子目标在网络可完成任务的集合中得到满足。当一个子目标得到满足后,再对排在后面的同级子目标进行规划。最终所有回溯路径可以构成基于网络应用任务的路径树,其中网络总任务是树的根节点,各子树就是各个子任务。

下面给出对某一任务进行任务组合规划的递归算法,其中 T 为规划的任务序列,含有入队列 Enqueue 和出队列 Delqueue 两种操作。

```

1:  $T = \text{Plan}(S, B) / * \text{对待完成任务 } S \text{ 规划, } B \text{ 为当前状态} * /$ 
2: If  $\{B \text{ 满足 } S\}$  返回  $S$ 
3: else  $\{$ 
4: 查找实现该任务的前提集合,每个前提构成  $S$  的一个子任务
5: 计算各子任务的执行前提集和结果集
6: 判断所有子任务间的顺序关系
7: 按照顺序关系对所有子任务排序,得到子任务序列并返回  $T = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 
8: for  $i = 1$  to  $n$ 
9: do  $\{T = \text{Plan}(S_i, B) / * \text{对各子任务逐一规划} * /$ 
10: Enqueue( $S_i, P$ )  $/ * \text{将任务 } S_i \text{ 加到规划队列中} * /$ 
11:  $B = (B - P_i) \cup E_i / * \text{状态更新, } E_i \text{ 为 } S_i \text{ 执行结果集, } P_i \text{ 为 } S_i \text{ 前提条件集} * /$ 
12: 返回子任务规划结果  $T_i$   $\}$ 
13:  $\}$ 

```

2 基于任务组合的 MAC 协议框架

2.1 结合任务组合的 MAC 协议框架

作为一种基本处理方法,任务的组合算法原则上可以应用于任意的 MAC 协议中。其基本过程是,传感器节点通过与簇头进行任务协商明确在此次网络任务中所承担的具体任务及相应发送的顺序,据此控制 MAC 的收发过程。为简单起见同时又不失一般性,本文给出基于任务组合的 MAC 协议框架具体算法,该框架具有一定的通用性。

```

1: 簇头节点运用任务组合中的任务组合递归算法,得到子任务的完成顺序,并对其编号后广播包含任务信息的分组;
2: 收到簇头信息的节点根据任务组合关系检查自己能完成的相应任务是否包含在任务信息中,若否,放弃发送数据并等待下一任务;若是,进入 3;
3: 与邻居节点交换信息,运用任务组合中的任务顺序判断规则对相邻节点待发送数据的关系作出判断,若为等价或可

```

```

替换关系,则放弃此次发送并告知邻居节点;若为前件关系,则执行任务并为依赖任务的节点准备数据;
4: 节点按照任务组合算法的发送规则,发送任务完成分组,包含任务的描述信息、完成状态、任务编号等信息;
5: 簇头收到任务完成分组,根据任务关系判断任务是否完成,若否,继续等待;若是,进入 6;
6: 簇头向簇内节点发送任务完成通知,节点进入休眠状态,周期性唤醒监听广播任务消息。

```

2.2 能耗特性

结合任务组合的 MAC 与原有 MAC 相比在节点能耗上具有明显优势,下面主要以最为经典的 802.11MAC 及以能耗著称的 S-MAC 为参考做具体阐述。

(1) 增加少量的控制消息开销。802.11MAC 的控制开销主要是 RTS/CTS/ACK 的传输开销, S-MAC 在 802.11MAC 的控制开销上多了用于同步调度信息的 SYNC 的传输开销。当任务组合加入这两种 MAC 后,其增加的控制开销仅在于在控制帧 RTS/CTS/ACK 上多了相应 bit 的任务类型、时空信息的描述等信息。

(2) 增加一定的内部处理开销。对于仍然以端到端的传输为基础的 MAC 协议,在 MAC 层的内部处理开销主要是虚拟监听机制中对数据 MAC 头的处理过程,这包括通过维护一个定时器记录和控制 NAV 等。结合了任务组合后,MAC 层的处理直接由应用层的任务组合信息来控制,因此节点执行任务组合算法时会消耗一定的内部处理开销。

(3) 显著减少任务相关的冗余数据传输开销。802.11MAC 和 S-MAC 均未解决数据冗余性传输的问题, S-MAC 的休眠机制主要降低的非工作节点的空闲监听能耗,对于正在工作的节点的数据是否存在冗余、有怎样的冗余性不能进行判断和处理。而已有研究显示传感器传输 1 bit 数据到 100 m 的距离所消耗的能量相当于处理 2 000 条指令消耗的能量^[1]。因此基于任务组合的方法实现了传感器多处理少传输、先处理后传输,显著减少网络通信开销。

(4) 降低了由于冗余数据传输造成碰撞重传导致的二次能耗。基于任务组合的 MAC 保留了原有 MAC 降低碰撞重传的机制,又通过任务语义性的处理降低了不必要的发送,使传输碰撞几率再次降低。

3 数值仿真

在 WSN 应用中,通常具有多种类型的传感器,具有收集多种类型信息的功能,现有网络常常将这些不同类型的数据分别加以收集,在中心汇聚节点

再进行数据整合判断,以获得人们期望的信息,这样不仅破坏了 WSN 协同合作的设计初衷,并且可能对数据采集的准确性造成影响。

本文以具有多种任务类型的 WSN 交通监控实例作为仿真场景,应用运行于 Linux 系统的网络仿真工具 ns-2(V2.30)工具,分别将上述任务组合框架应用于 802.11 MAC 协议和 SMAC 协议中,实现 MAC 层的任务语义控制功能。网络结构为单一分簇网络,由簇头节点控制簇内成员节点的任务分配和传输。

3.1 场景描述

假设 WSN 在道路交通监测领域的应用描述如下,监测某路段道路交通安全,包括道路气象监测、路况信息监测及车辆行驶安全监测。部署的传感器和监测的物理信息量为:车载加速度传感器用来测量车体重量,车载超声波传感器用来测量与前车的距离,路面压电薄膜传感器用来精确测量在其上行驶的车辆速度、车体动态重量,安装在路基的磁力传感器配合电感线圈可以提供车辆经过、计数等信息,温度、湿度传感器可以给出道路周围的气象监测信息(如路面冰、雪、雨量、雾量或可见度)。系统应当根据不同的物理信息及信息的组合作出判断,并发出警告信息,如在道路湿滑或能见度下降时发出“特殊天气行驶警告”,根据不同的天气情况,结合车流量,对行驶车辆车速作出是否要发出“安全距离警告”,在车辆载重过大或路面有损时发出“道路损坏警告”^[1,5]。

3.2 任务组合的分析

该应用涉及 3 个任务,分别为 S1:道路气象信息监测、S2:路况信息监测、S3:车辆行驶安全监测。尽管目前传感器网络能够解决单个任务,但这些任务的完成都依赖远程服务器对数据的集中处理,而单独的一个任务并不能满足人们对道路交通监控的需求,并且任务与任务之间有一定的关联性,一个任务完成过程中的中间结果可以用来对另一个任务作出判断或提出约束条件。因此通过在节点通信中加入任务组合算法,可以达到任务融合和面向应用传输的目的,从而减少网络中的冗余数据传输量,降低能耗。

节点对多个任务的组合的推理过程描述如下:

- S1:道路气象监测 S2:路况信息监测
- S3:车辆行驶安全监测

S1 = (P1;E1):

P1 = { time(a), location(a), humidity(a), lightIntensity(a) }

E1 = { Weather-Info { Slippy-Info, Visibility-Info } }

S2 = (P2;E2):

P2 = { time(a), location(a), vibration(a), E1 }

E2 = { RoadCondition-Info }

S3 = (P3;E3)

P3 = { time(a), location(a), vehicle(a), speed(a), headway(a), E1, E2 } / * headway(a) 表示车辆 a 与前车的距离 */

E3 = { SafeDriving-Info }

以上 3 个任务都定义在无环任务集合 TBox 中, T = { Weather_info = Slippy_info ∪ Visibility_info, SafeRoad_info = 路面平整且干燥 ∪ 路面起伏 ∪ 路面平整但湿滑 ∪ 路面严重受损且湿滑, SafeDriving_info = 安全 ∪ 不安全且易发生追尾 }, 其中 Weather_info = { Slippy_info = 地面干燥 ∪ 地面潮湿 ∪ 地面湿滑, Visibility = 低于 100 m ∪ 100 m ~ 500 m ∪ 大于 500 m }。

上级节点可以把目标任务分为两个子任务,即 $\delta = goal = E_1 \cup \{ Safe_info \}$, 子任务为 $\delta_a = E_1, \delta_b = Safe_info$, 根据子任务的顺序关系判定算法, δ_a 应当优先于 δ_b 执行,再以 δ_b 为目标任务,按照任务组合递归算法,得到 $\delta_b = E_2 \cup E_2, \delta_b$ 的子任务 δ_{b1}, δ_{b2} , 并且 δ_{b2} 优先于 δ_{b1} 执行。最终任务的组合方式及顺序为 $\delta_a \rightarrow \delta_{b1} \rightarrow \delta_{b2} \rightarrow \delta_b$, 网络中的各个节点在该任务组合方式的指导下进行传送和处理信息,使得网络节点面向的对象从数据本身变为数据所体现的应用任务,其传输控制也从传统的面向 IP 连接方式变为面向应用任务的网络互联。

3.3 协议实现

3.3.1 协议帧格式

802.11 MAC 协议帧分为数据帧、控制帧和管理帧三种,SMAC 协议是在 802.11 MAC 基础上增加了休眠机制,其使用 RTS/CTS/ACK 控制帧来实现虚拟监听减小碰撞概率的基本策略是一样的。基于任务组合的协议框架是对这几个控制帧的格式进行修改,在节点接收和发送该类型帧时增加检测和判断的方法,使节点能够根据网络任务组合的要求,任务的关系、顺序等控制数据的发送。以 RTS 为例,图 1 给出协议仿真时的帧结构。

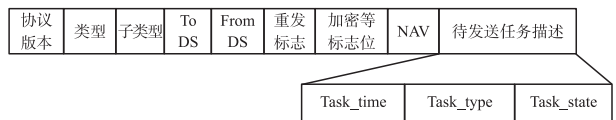


图 1 基于任务组合的 MAC 协议帧头结构

3.3.2 仿真参数及步骤

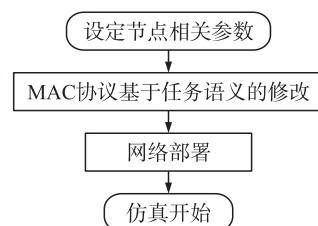


图 2 MAC 协议在任务组合框架下的实现流程

表 2 仿真参数

仿真参数	
网络拓扑	100 m×100 m 矩形区域
节点数目	20(随机分布)
节点感知半径	20 m
节点通信半径	50 m
能量设置	初始 100 J,空闲、接收和发送的能耗 35 mW、395 mW 和 660 mW
节点发送数据率	1 kbit/s

MAC 协议基于任务语义的修改包括 MAC 帧头格式的修改和任务组合控制函数的添加。

表 3 MAC 协议修改步骤

MAC 帧格式修改	任务组合控制函数添加
增加变量:Task_	1. 发送 send() 和接收 recv() 中 RTS/ CTS 函数中增加任务关系判断,进行 任务匹配;
type/Task_time/ Task_state	2. 在发送 send() 中增加任务优化函 数,应用任务的关系和组合递归顺 序,优化任务的发送顺序;

网络部署如表 4 所示。

表 4 网络部署步骤

1. 根据网络应用类型定义几种任务类型;
2. 按照任务组合递归算法计算几种类型任务的执行顺序;
3. 定义场景中心节点为簇头节点,其余 19 个节点随机生成;
4. 为簇头布置任务。特定时间点分别通过广播改变网络子任务;
5. 其余节点均为簇内节点,每 1 s 产生一次数据发送簇头,网络每 25 s 计算一次所有节点平均能耗。

3.4 仿真结果

仿真结果如下,图 3 结果显示,方案二优于方案一,原因是方案二不仅保留了 802.11MAC 通过物理监听和虚拟监听减少分组的碰撞的机制,同时根据网络应用信息及节点自身的能力信息在发送或转发数据之前,通过任务组合算法的规则进行判断,减少了①非当前网络子任务相关的数据发送及转发能耗;②由于冗余数据的传输造成碰撞重传导致的能耗。方案四优于方案三,原因是方案四中在采用周期性工作/休眠机制的同时,在节点唤醒后首先监听当前网络任务,若自身所完成的任务与网络任务要求不符,则取消该工作周期内的所有动作直接进入休眠,这样降低了任务无关节点在工作周期内的空闲监听及无关数据发送的能耗。方案四优于方案二

的原因主要是增加了周期性休眠机制。由此可见任务组合算法具有一定的通用性,并且与性能更优的 MAC 结合可以获得更小的能耗。

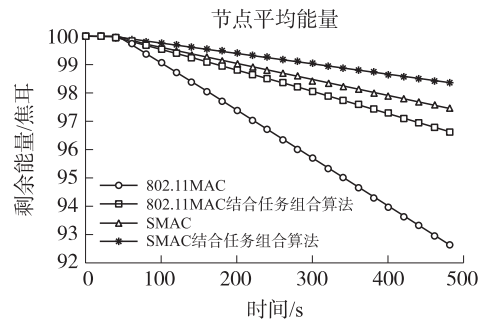


图 3 4 种 MAC 节点平均能耗比较

仿真结果表明,在 WSN 应用中,通过增加一次性的协商控制开销,可以减少多次冗余数据的传输开销。由于密集分布的无线传感器网络,其节点间的冗余数据量将远远大于一次性的协商数据量。只有在节点数据不存在冗余度时,采用本方法才增加网络能耗。对于每个节点,用于执行任务组合算法的开销越小,网络冗余性越大,数据传输任务时间越长,数据量越大,采用基于任务组合的 MAC 协议节能效果就越明显。

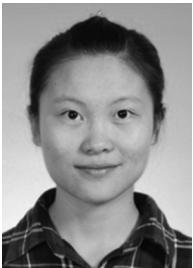
4 结束语

本文阐述了一种基于 WSN 应用语义的网络互连思想,尽管目前已有一些研究试图将语义融入无线传感器网络^[7-10,15],或采用跨层技术将上层信息融入到传输控制中^[16],但其基础都是面向数据的传输,将语义作为描述数据的一种属性来使用,本文的突破在于使用任务的组合思想来控制 MAC 层的传输,提出了一种 WSN 任务组合的描述及运算方法,并与现有传感器网络 MAC 协议结合,构成具有通用性的基于任务组合的 MAC 协议框架,该框架使网络在 MAC 层上的传输控制的基本单元由数据变为含有应用含义的网络任务及子任务,从根本上转变了传统传感器网络基于端到端的数据传输机制,这是在网络语义互联及语义传输思想下的初步尝试。后续研究中,我们将进一步完善任务的语义描述机制,并研究在该描述机制下无线传感器网络基于任务思想的传输控制在网络各层的实现。

参考文献:

- [1] Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, Dipak Ghosai. Wireless Sensor Network Survey [J]. Computer Networks, 2008, 50 (6): 2292-2330.
- [2] Demirkol I, Ersoy C, Alagoz F. MAC Protocols for Wireless Sensor

- Networks; A Survey[J]. IEEE Comm. Mag., 2006, 44(4): 115-121.
- [3] Ye W, Heidemann J, Estrin D. An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks [C]//Proceedings of IEEE INFOCOM, 2002: 1567-1576.
- [4] Lu G, Krishnamachari B, Raghavendra C S. An Adaptive Energy-Efficient and Low-Latency MAC for Data Gathering in Wireless Sensor Networks [J]. Wireless Communication and Mobile Computing, 2007, 7(7): 863-875.
- [5] Jamieson K, Balakrishnan H, Tay Y C. Sift: A MAC Protocol for Event-Driven Wireless Sensor Networks [R]. MIT Laboratory for Computer Science, 2006, 3868: 260-275.
- [6] Amit Sheth, Cory Henson, Satya S. Sahoo. Semantic Sensor Web [J]. IEEE Internet Computing, 2008, 12(4): 78-83.
- [7] Iker Larizgoitia, Leire Muguira, Juan Lgnacio Vazquez. Architecture for WSN Nodes Integration in Context Aware System Using Semantic Messages [J]. Social Informatics and Telecommunications Engineering, 2010, 28: 731-764.
- [8] Mehmet C Vuran, IF Akyildiz. Spatial Correlation-Based Collaborative Medium Access Control in Wireless Sensor Networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2009, 14(2): 316-329.
- [9] Lionel M Ni, Yanmin Zhu, Jian Ma, et. al. Semantic Sensor Net: An Extensible Framework [J]. Int. J. Ad Hoc Ubiquitous Comput. 2009, 4(3/4): 157-167.
- [10] 孟凡勇, 熊庆旭. 基于应用任务的无线传感器网络 MAC 协议 [J]. 传感技术学报, 2010, 23(1): 98-103.
- [11] 李想. 基于应用描述的无线传感器网络 MAC 技术研究 [D]. 北京航空航天大学电子信息工程系, 2008.
- [12] Turkmen Canli, Farid Nait-Abdesselam, Ashfaq Khokhar. A Cross-Layer Optimization Approach for Efficient Data Gathering in Wireless Sensor Networks [C]//Networking and Communications Conference, 2008 IEEE International.
- [13] Bin Shi, Haiyang Wang, Lizhen Cui, et. al. Service Composition Algorithm Using Semantic Constraint to Implement User Personality [J]. Journal of Southeast University, 2008, 24(3): 365-368.
- [14] 史忠植, 邱莉榕, 林芬, 等. 基于主体的语义 Web 服务自动组合研究 [J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(4): 643-650.
- [15] Khoi-Nguyen Dao Tran. Semantic Sensor Composition [D]. Australian National University; the School of Computer Science, 2009.
- [16] 郑国强, 孙若玉, 李济顺. 一种适用于无线传感器网络的跨层高效 MAC 协议 [J]. 传感技术学报, 2009, 22(1): 95-99.



李 晴 (1988-), 女, 汉族, 研究生在读, 主攻方向无线传感器网络智能化、语义技术与通信技术的结合, leeqing0523@126.com;



熊庆旭 (1965-), 男, 汉族, 教授, 博士生导师, 主要从事无线传感器网络、语义通信、高性能交换和卫星分组交换及网络领域的研究, qxixiong@buaa.edu.cn。