

# 一种 TDMA 无线传感器网络 MAC 协议能量有效性分析

官 铮 赵东风 余介夫

(云南大学信息学院 昆明 650091)

**摘 要** 经典轮询协议作为一种 TDMA 型 MAC 协议,符合无线传感器网络节约能量的要求,但在网络伸缩性上有所不足。在此基础上得出一种更适用于无线传感器网络的 Controllable Threshold Polling MAC 协议(CTP-MAC),使得网络能够自主完成时隙分配;结合概率母函数的方法,建立网络能量有效性的分析模型,得到平均功率的近似计算公式,对经典门限服务轮询协议和 CTP-MAC 进行分析。通过仿真实验,验证了分析模型的有效性。

**关键词** 无线传感器网络,MAC,能量有效,性能分析

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## Analysis Model for the Efficient of the TDMA MAC for Wireless Sensor Network

GUAN Zheng ZHAO Dong-feng YU Jie-fu

(School of Information Science & Technology, Yunnan University, Kunming 650091, China)

**Abstract** We presented a controllable threshold polling medium access protocol designed for wireless sensor networks. Although polling as one of kinds the TDMA medium access control protocol has the advantage of energy conservation, extensibility is not as good as that of contention-based protocol. The main goal of the MAC protocol is to realize the self-organizing in slot assignment and synchronization. Methods of the imbedded Markov-chain theory and the probability generating function were used to propose an analysis model of energy efficient for wireless sensor network. Finally, mathematic analyses and simulations results show that the proposed model is suitable for analyzing the energy efficient of MAC for wireless sensor network.

**Keywords** Wireless sensor network, MAC, Energy efficient, Performance analyses

## 1 引言

无线传感器网络由分布在一定区域内的大量传感器节点组成<sup>[1]</sup>。在传感器网络中,除少数节点需要移动以外,大部分节点都是静止的,且运行环境相对恶劣、不易更换,设计有效的策略来延长网络的生命周期成为研究的核心问题。由于传感器节点的能量供应问题还没有得到较好的解决,节点自身不能完成能量补给,因此节约能量成为传感器网络 MAC 协议设计首要考虑的因素。根据媒体接入方式的不同,将其主要分为基于竞争的 MAC 协议和基于调度的 MAC 协议。基于竞争的 MAC 协议采用按需使用信道的方式,在 IEEE802.11MAC 协议的基础上,提出了多个用于传感器网络的基于竞争的 MAC 协议<sup>[2-4]</sup>。调度型 MAC 协议中,基于 TDMA 的 MAC 协议因其信道分配简单而成熟的机制,得到了广泛的研究,此类协议具有一些非常适合传感器网络节能要求的特点:没有竞争机制的碰撞重传问题;数据传输是不需要复杂的控制信息;节点在空闲时能及时进入睡眠状态<sup>[5-7]</sup>,但是需要节点间比较严格的时钟同步。混合接入 MAC 协议结合上述两种接入方式的优点,在网络运行中适时地采用竞争和调度方式,可获得比采取单一接入方式更好的性能及运用空间。

传统的轮询多址协议需要中心节点的集中控制,且各节点间不能进行直接的数据交换,并不适用于无线传感器网络。现通过对经典门限服务轮询协议的优化,得到一种更加适于无线传感器网络的 Controllable Threshold Polling MAC (CTP-MAC)协议;结合参考文献[8]所述马尔科夫链和概率母函数的分析方法,对该协议在传输过程中的能量有效性进行建模分析,得出平均功率的近似计算公式,并通过仿真实验证明了分析方法的可行性。本文研究意义在于:1)CTP-MAC 结合竞争和调度的控制机制,保证网络采用轮询服务方式节约能量的同时增加了网络的可扩展性;2)该协议在发送过程中加入少量的控制成分,使得节点间可直接进行数据交换且便于实现同步;3)对数据传输过程中的能量有效性建模分析,此方法可运用于 EMAC、LMAC 等 TDMA 型无线传感器网络 MAC 协议的研究当中。

## 2 网络模型

假设无线传感器网络内共有  $N$  个节点,整个网络节点的数据分组到达数满足到达率为  $\lambda$  的泊松过程,即  $P\{N(t)=k\}=\frac{(\lambda t)^k}{k!}e^{-\lambda t}$ 。分组均为固定长度; $N$  个节点都处于一跳范围内,即任两个节点都可以相互通信,并且各节点通信时使用单一

本文受轮询系统演进及应用控制协议研究(61072079),支持 QoS 保障的无线 Ad hoc 网络 MAC 协议研究(2011Y117)资助。

官 铮(1982-),女,博士生,实验师,主要研究方向为计算机网络、多址通信系统,E-mail:gz\_627@sina.com;赵东风(1957-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为轮询多址通信系统、通信网络工程、随机多址通信系统等。

无线信道。

传感器节点对能量的消耗大致可分为3个部分:无线电收发器、处理器和探测设备。在已经实现的传感器网络中,无线电收发器传输一个字节消耗的能量相当于处理器进行上万次的运算的能耗<sup>[8]</sup>,因此我们分析的能量消耗以传输单元为主。数据传输单元通常由低功耗、短距离的无线通信模块组成。各节点在传输过程中由不同的状态  $S$  组成,  $S=[s_1, s_2, \dots, s_k]$ , 网络中各节点平均功率为  $P_i = \sum_{j=1}^k P_{i,j}$ , ( $i=1, 2, \dots, N$ ), 网络传输平均总功率为  $P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k P_{i,j}$ 。在此假设信道为单通道传输, 网络运行中节点存在3个状态: 发送、接收、休眠。假设节点处于传输状态时功率为  $P_{Tx} = 16\text{mW}$ , 接收状态时功率为  $P_{Rx} = 14.4\text{mW}$ , 休眠状态  $P_{Sn} = 15\text{uW}$ , 数据传输率  $B = 100\text{kbps}$ , 参数设置参照 RFM TR1001<sup>[9]</sup>。

### 3 协议分析

#### 3.1 经典门限服务周期查询协议

假设网络由  $N$  个节点构成, 且基于轮询多址门限服务原始模型进行工作, 各节点按固定顺序获得发送权后, 轮流将数据发送至网关, 如图1所示, 当1个节点发送数据时, 其余  $N-1$  个节点处于休眠状态。网关控制网络中各节点获得发送权的顺序, 具有足够的能量来源。当前节点发送完成后即转入休眠状态, 下一个获得发送权的节点被唤醒后开始数据传输,  $N$  个节点依次完成一次发送称为一个循环周期。

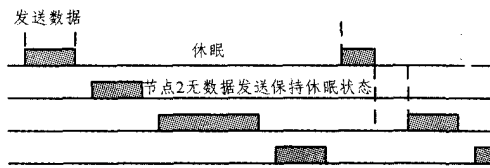


图1 经典轮询协议时隙划分

结合文献<sup>[8]</sup>所述的马尔科夫链和概率母函数分析方法可以得出如下结论:

$$E[Q] = \frac{\sum_{k=1}^N \gamma_k}{1 - \sum_{k=1}^N \lambda_k \beta_k}$$

$$E[T_i] = \frac{\lambda_i \beta_i \sum_{k=1}^N \gamma_k}{1 - \sum_{k=1}^N \lambda_k \beta_k}$$

其中,  $\lambda_i$ : 节点  $i$  数据分组到达率(分组/时隙);

$\beta_i$ : 节点  $i$  数据发送率(时隙/分组);

$r_i$ : 节点  $i$  获得发送权的时间间隔(时隙);

$E[T_i]$ : 一次循环中节点  $i$  发送数据占用平均时间(时隙);

$E[Q]$ : 平均服务循环周期(时隙)。

将上述分析结果应用到传感器网络中, 假设节点在发送状态的功率为  $P_{Tx}$ , 在休眠状态的功率为  $P_{Sn}$ , 得到网络平均总功率为:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k P_{i,j} = \sum_{i=1}^N P_{i,Tx} + P_{i,Sn} \\ &= \sum_{i=1}^N \left( \frac{(P_i + P_s(N-1))E[T_i] + NP_s \gamma_i}{E[Q]} \right) \\ &= \sum_{i=1}^N \left( (P_i + P_s(N-1))\lambda_i \beta_i + NP_s \left( 1 - \sum_{k=1}^N \lambda_k \beta_k \right) \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= (P_i + P_s(N-1)) \sum_{i=1}^N \lambda_i \beta_i + NP_s \left( 1 - \sum_{k=1}^N \lambda_k \beta_k \right) \\ &= NP_s + (P_i - P_s) \sum_{i=1}^N \lambda_i \beta_i \end{aligned}$$

当负载  $\sum_{i=1}^N \alpha_i = \sum_{i=1}^N \lambda_i \beta_i = 0$  时,  $P_{\Sigma} = NP_s$ ; 当  $\sum_{i=1}^N \alpha_i \uparrow 1$  时, 因为  $P_s \ll P_i$ ,  $NP_s \left( 1 - \sum_{k=1}^N \lambda_k \beta_k \right) \approx 0$ , 所以  $P_{\Sigma} = P_i + P_s(N-1)$ 。

由此可知, 当负载较小时, 系统功率主要消耗在节点休眠上; 当负载较大时, 能量主要消耗在发送数据上。

由于节点大部分时间处于休眠状态, 因此将经典门限周期查询方式用于无线传感器网络能较好地节约能耗, 但其仍然存在以下问题: 1) 网络中传感器节点仅负责将数据向高级接收站点发送, 而没有考虑到各节点之间数据的相互交换; 2) 各节点的服务顺序需要通过集中控制来实现; 3) 收发机的同步要在整个过程中得到保持。

#### 3.2 带控制信息的门限服务周期查询协议

针对经典门限轮询方式的不足, 提出基于控制信息的门限服务轮询 Controllable Threshold Polling MAC (CTP-MAC) 协议, 使其更适用于无线传感器网络; 并建模分析网络达到稳定传输时的能量有效性。

##### 3.2.1 协议描述

无线传感器网络中大部分节点是静止的, 在相对较长的时间内数据传输状态保持稳定。因此在协议设计中, 对经典门限轮询协议做出如下改进:

1. 在网络形成初期, 通过竞争方式获得一个相对固定的发送顺序, 无线传感器网络结构变化频率较低, 不需每次循环竞争发送权, 而是当网络稳定运行一段时间, 达到一个预先设置好的循环次数之后再重新分配发送顺序。网络运行过程大致分为两个阶段:

初始化竞争阶段: 基于竞争方式为节点分配序号<sup>[10]</sup>, 通过某种分群算法竞争出一个类似群首的节点  $h$ , 标注序号为 1, 由  $h$  生成一个初始消息, 随机发送给它的一个邻居节点  $n$ , 告知  $i$  为  $h$  后继节点, 标注  $i$  节点序号为 2。采用相同的方法进行标记, 直到  $h$  收到其邻居节点  $k$  发送的  $h$  为  $k$  的后继节点, 且标注  $h$  序号为  $N+1$  的初始化信息, 则网络初始化完成, 各节点获得相应的发送顺序。

传输轮询阶段: 各节点按照序号依次获得发送权, 按门限方式发送分组。

2. 在每一个数据分组前添加控制字段 TC, 用于控制数据的接受者、节点间同步以及网络更新。控制、数据帧结构如图2所示。

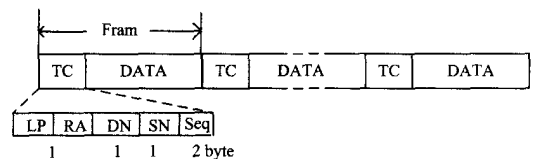


图2 CTP-MAC协议控制、数据帧结构

LP: 结束分组标示位 (Last Packet) 1bit, 表示序号为  $SN+1$  的节点在接收到  $LP=1$  的 TC 后, 经过一个  $T_{DATA}$  时间后获得发送权;

RA: 环标识 (Ring Address) 7bit, 在分簇结构中区分子网, 否则置零预留;

DN: 目的节点序号 (Destination Node Number) 指明数据

接收节点,各节点由此决定在数据传输过程中的状态;

SN:发送节点序号(Source Node Number)用于确定下一个获得发送权的节点;

Seq:序列号(Sequence number)初始值为0,完成一次循环后发送权再次回到序号为1的节点,序列号就加1;当Seq达到门限值后,进入网路初始化阶段,节点重新竞争发送顺序。

图3给出了工作的流程,节点按照预先设定的分配方法依次获得发送权。

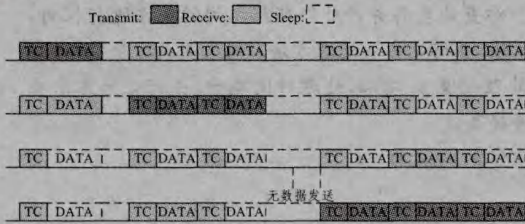


图3 CTP-MAC协议时隙划分

(1)享有发送权的节点判断是否有带发送数据;若有数据发送,则按照门限方式发送由控制字段TC和数据段DATA共同构成的分组;若无数据发送,则经过一个服务转换时间将发送权转交SN+1号节点。

(2)节点发送分组时首先发送TC,其余N-1个节点在TC期间接收控制信息并判断自己是否为目的节点;在T<sub>DATA</sub>时段享有发送节点发送数据,目的节点接收数据,其余节点进入T<sub>DATA</sub> + T<sub>r</sub>休眠状态后被唤醒,接收下一个TC。

(3)重复上述过程,直至TC中LP=1。发送完最后一个分组收发后经过T<sub>r</sub>将发送权转交至SN+1号节点。

T<sub>r</sub>:服务转换时间;

T<sub>TC</sub>:发送控制字段占用时间;

T<sub>DATA</sub>:发送一个数据分组占用时间;

T<sub>DATA</sub>、T<sub>TC</sub>和T<sub>r</sub>均为固定长度,有利于节点唤醒以及相互之间保持同步。

### 3.2.2 性能分析

传感器网络中,除少数节点需要移动以外,大部分节点都是静止的,在网络初始化完成之后可保持长时间的稳定传输。假设网络初始化完成后节点发送顺序相对稳定,基于此条件,对网络传输能耗进行建模分析。

假设网络中所有节点型号相同,数据采用单播传输,每个数据分组仅有一个接收者。为方便计算,在此令E[T<sub>TC</sub>]=1(时隙),T<sub>DATA</sub>=β(时隙),T<sub>r</sub>=r(时隙)。

$$\begin{aligned}
 P_{\text{总}} &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k P_{i,j} \\
 &= \sum_{i=1}^N P_{i,Tx} + P_{i,Rx} + P_{i,sl} \\
 &= \sum_{i=1}^N \left( \frac{NP_s \gamma_i + g_i(i)(\beta - E[T_{TC}]) (P_t + P_r + (N-2)P_s)}{E[Q]} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{g_i(i)E[T_{TC}](P_t + (N-1)P_r)}{E[Q]} \right) \\
 &= NP_s \left( 1 - \sum_{k=1}^N \lambda_k \beta \right) + \sum_{i=1}^N \lambda_i (\beta - E[T_{TC}]) (P_t + P_r + (N-2)P_s) + E[T_{TC}] \sum_{i=1}^N \lambda_i (P_t + (N-1)P_r) \\
 &= NP_s \left( 1 - \sum_{k=1}^N \lambda_k \beta \right) + \sum_{i=1}^N \lambda_i \beta (P_t + P_r + (N-2)P_s) + E[T_{TC}] (N-2)(P_r - P_s) \sum_{i=1}^N \lambda_i
 \end{aligned}$$

$$= (N-2) \sum_{i=1}^N \lambda_i \beta (P_t + P_r) + \sum_{i=1}^N \lambda_i \beta (P_t + P_r + (N-2)P_s) + E[T_{TC}] (N-2)$$

$$(P_r - P_s) \sum_{i=1}^N \lambda_i$$

其中,控制字段TC为数据分组前的附加字段,因此

$$E[T_{TC}] = \begin{cases} 0, & \sum_{i=1}^N \lambda_i = 0 \\ 1, & \text{else} \end{cases}$$

当负载 $\sum_{i=1}^N \alpha_i = \sum_{i=1}^N \lambda_i \beta = 0$ 时, $P_{\text{总}} = NP_s$ ,即当分组到达率极低时,能量主要消耗在节点休眠上,系统处于节能状态。

当 $\sum_{i=1}^N \alpha_i \approx 1$ 时, $P_{\text{总}} = P_t + P_r + (N-2)(P_s + (P_r - P_s) \sum_{i=1}^N \lambda_i)$ 。由此可知,到达率λ对能量消耗有较大的影响,由于 $P_s \ll P_r$ ,因此λ越大,节点数量对能耗的影响也越明显,这是缘于每个数据分组前均需附加控制分组,当到达率较高时,相应的控制信息能耗增多。当数据分组长度增加,传输速率不变时,T<sub>DATA</sub>增加,则β增大使得功耗增加;反之,若传输速率增加,β减小,则功耗降低。

## 4 仿真实验

基于Matlab7.0平台,对CTP-MAC协议传输阶段平均功率进行计算机仿真和理论计算。生成负指数分布随机数字序列模拟数据包采集的时间间隔,统计数据包在传输过程中的传输时延,根据数据传输各阶段的能耗特性,进一步得出系统平均功率。假设信息分组长度400bit,信道速率为100kbps,系统的时隙宽度为10us,信息分组按POISSON分布到达各节点。如图4所示,“\*”代表传输总功率计算机仿真值,“—”表示理论计算值,理论值和仿真值较好吻合。图4反映了网络固定负载下节点对平均功率的影响程度,功率消耗随着网络规模(节点数量)的增加而增加,平均功率和节点数近似于线性关系。文中针对负载为0.1、0.5和0.9这3种情况下的网络能耗进行仿真,低负载环境中由于能量主要消耗在节点休眠上,平均功率随站点数缓慢增加;高负载环境中,由于节点接收能耗远大于休眠状态,平均功率受节点数影响明显。

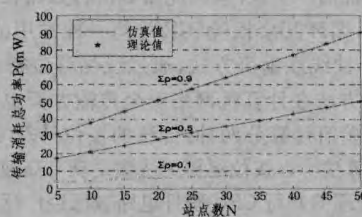


图4 CTP-MAC协议功率分

**结束语** 针对无线传感器网络对节点能耗和灵活性的要求,在经典轮询多址MAC协议的基础上提出CTP-MAC,运用马尔科夫链和概率母函数的分析方法对节点传输过程中的能量有效性进行建模分析,得到了平均功率的近似计算公式。通过仿真实验证明,分析所得结果能够较好地反映实际网络情况,该模型可以应用于TDMA型MAC协议的能耗有效性分析。

需要指出,建立求解网络能量有效模型具有重要意义,但要获得一个精确、完备的分析模型来反映网络的实际运行情况还非常复杂;本文仅对单跳网络进行分析,当网络覆盖范围

(下转第173页)

表1 节点间不同距离下的 LQI 损耗百分比

A \ B	B				
	15	20	30	40	50
有障碍物	41.25	41.88	45.00	46.25	46.56
没有障碍物	39.00	39.38	40.38	41.75	42.13

注:A:两节点间距离(m);B:有无障碍物

从表1中可以看出,在两节点距离相等的情况下,中间有障碍物时信号损耗的程度较大,而且随着距离的增加,信号的损耗增长幅度也会变大。在节点间距离为50m时,有障碍物的情形下LQI损耗要比没有障碍物的情况下LQI损耗多10.53%;而在节点间距离为15m时,这个损耗为5%。

在实验二中,对不同情况下的LQI损耗百分比进行统计,如表2所列。从表2可以看出,协调器节点与植株障碍物之间的不同距离也会对信号的衰减产生不同程度的影响。

表2 C-O间不同距离条件下LQI的损耗百分比

E \ F	F							
	15	20	25	30	35	40	45	50
0	42.50	43.13	43.75	45.00	45.63	46.25	-	-
10	41.25	42.88	43.75	45.00	45.63	46.25	45.63	46.25
20		42.50	43.75	43.75	44.38	44.38	43.75	44.38
25			43.75	43.75	44.38	43.75	44.38	44.38
30				45.63	45.63	46.25	46.25	46.88

注:E:两节点间距离(m);F:协调器与植株障碍物的间距(m)

协调器与障碍物的间距为0m,节点间距离大于45m时,终端节点基本上接收不到信号,无法读取终端节点的LQI值,而且在节点间距离小于20m时,传播过程中损耗要比其它情况下损耗的LQI值要高,损耗了近43.13%。当节点间的距离在25~40m的范围内、节点间距离相等的情况下,障碍物放置在节点之间的位置对信号的衰减影响大致相同,只是在协调器与障碍物的间距为25m时例外。在协调器节点与障碍物的距离为25m时,增大或缩小节点间的距离,其它条件相同的情形下,传播过程中LQI损耗是最低的,与其它情况相比降低了3%到5%。

另外,在表2的左边,当节点间距离小于25m时,从纵向看,数据呈递减的趋势,也就是说,在25m以内,节点之间的障碍物距离协调器节点越近,信号传播过程中LQI损耗就越

大,信号能量衰减也就越严重。

**结束语** 温室的智能化是我国温室发展的重要目标,其核心技术就是温室网络平台的搭建。本文在空旷条件和有植株障碍物情况下分别进行了两组实验,研究了无线信号在传播过程中LQI的损耗情况,进而研究了节点之间的距离、信号源节点与植株障碍物之间的距离等因素对无线信号衰减产生的影响,为温室中网络节点的部署及网络优化提供了良好的实验基础和理论基础。下一步将在已有的成果之上,综合各种导致无线信号衰减的因子,建立信号衰减数学模型,这对温室网络的动态调整以及性能的优化有着重要的参考意义。

## 参考文献

- [1] 郭清华. 蔬菜大棚智能温度控制系统应用研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(11): 4487-4488
- [2] 邱丽娟, 姜宇, 胡成全. 无线传感器网络可靠性研究进展[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(10): 1-3
- [3] Akyildiz I F, Stuntebeck E P. Wireless underground sensor networks; Research Challenges[J]. Ad hoc Networks, 2006, 4(6): 669-686
- [4] 倪巍, 王宗欣. 基于接收信号强度预测的室内定位算法[J]. 复旦学报, 2004, 43(1): 73-76
- [5] 李瑶怡, 赫晓星, 刘守印. 基于路径损耗模型参数实时估计的无线定位方法[J]. 传感技术学报, 2010, 23(9): 1328-1333
- [6] 李偲钰, 高红菊, 姜建钊. 小麦中天线高度对2.4GHz无线信道传播特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 184-189
- [7] 狄飞, 张莉君. 基于ZigBee无线传感器网络的森林环境检测系统[J]. 福建农林大学学报, 2011, 40(4): 435-438
- [8] 陆志平, 秦会斌, 王春芳. 无线传感器网络在森林火灾检测中的应用[J]. 杭州电子科技大学学报, 2006, 26(5): 48-51
- [9] 韩敏, 李书琴, 张静, 等. 智能温室远程监控系统的研究与实现[J]. 单片机开发与应用, 2007, 23(10): 67-69
- [10] 刘美琪, 马斌强, 季宝杰, 等. 多信息融合的智能温室控制系统研究[J]. 河南农业大学学报, 2009, 43(2): 182-185
- [11] 张瑜, 吴少华. 移动通信中微小区电波传播损耗的预测模型[J]. 河南师范大学学报, 2008, 36(4): 64-66

(上接第153页)

扩大后,则需加大发送功率,因此需进一步考虑多跳传输下的接入模型;另外例如节点状态转换带来的能耗和时延、节点间同步、网络更新周期等都是需要进一步研究和讨论的问题,也是作者今后努力研究的方向。

## 参考文献

- [1] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282-1291
- [2] Incel O D, et al. MC-LMAC: A multi-channel MAC protocol for wireless sensor networks [J]. Ad Hoc Network, 2010, 9(1): 73
- [3] Liu Bao-hua, Bulusu N, Pham H, et al. CSMAC: A Novel DS-CDMA Based MAC Protocol for Wireless Sensor Networks[C]// IEEE GLOBECOM Wireless Ad hoc and Sensor Networks. Dallas Texas, 2004: 33-38
- [4] Hsu T-H, Wu J-S. An application-specific duty cycle adjustment MAC protocol for energy conserving over wireless sensor networks [J]. Computer Communications, 2008, 31: 4081-4088

- [5] Nieberg T, Dulman S, Havinga P, et al. Collaborative Algorithms for Communication in Wireless Sensor Networks[M]. Ambient Intelligence: Impact on Embedded Systems, Kluwer Academic Publishers, November 2003: 271-294
- [6] van Hoesel L F W, Havinga P J M. A Lightweight Medium Access Protocol(LMAC) for Wireless Sensor Networks; Reducing reamble Transmissions and Transceiver State Switches[C]// First International Conference on Networked Sensing Systems. Tokyo, October 2004
- [7] Bisnik N, Abouzeid A A. Queuing network models for delay analysis of multihop wireless ad hoc network [J]. Ad Hoc Networks, 2009(7): 79-97
- [8] 赵东风, 郑苏民. 周期查询式门限服务排队系统中信息分组的延迟分析[J]. 通信学报, 1994, 15(2): 18-23
- [9] RFM. TR1001 868. 35 MHz hybrid transceiver[S]
- [10] 何敏, 刘心松, 赵东风, 等. 分布式并行无线令牌环接入控制协议[J]. 电子科技大学学报, 2005, 34(7): 813-816