

接收方发起发送方主导的无线传感器网络 MAC 协议设计

张棋飞¹ 戴志锋² 桂 超²

(湖北经济学院网络工程系 武汉 430205)¹ (湖北经济学院软件工程系 武汉 430205)²

摘 要 在异步的由接收方发起的无线传感器网络媒体接入控制协议设计中,传统协议采用了接收方主导的唤醒方式,延长了发送节点持续侦听信道的时间,导致传输时延和能耗的增加。分析了节点唤醒方式对传输时延的影响,提出一个发送方主导唤醒的 RISD-MAC 协议,使接收方能够根据发送方的唤醒调度动态调整自己的唤醒时间,以与发送节点的数据发送相适应,从而提升传输效率。仿真结果表明,与 RI-MAC 协议相比,RISD-MAC 协议能够在保证分组投递率的情况下获得更少的传输时延以及更低的占空比。

关键词 无线传感器网络,媒体接入控制,接收方发起,时延,唤醒调度

中图法分类号 TP393 文献标识码 A

Receiver-initiated Sender-dominated MAC Protocol Design in Wireless Sensor Networks

ZHANG Qi-fei¹ DAI Zhi-feng² GUI Chao²

(Department of Network Engineering, Hubei University of Economics, Wuhan 430205, China)¹

(Department of Software Engineering, Hubei University of Economics, Wuhan 430205, China)²

Abstract In the design of asynchronous receiver-initiated wireless sensor network medium access control protocols, conventional protocols adopt receiver-dominated wakeup manner, which prolongs the period for persistent channel detection of upstream sender, thus increasing both delivery latency and energy consumption. The impact of different wakeup methods on delivery delay is studied and a novel receiver-initiated sender-dominated medium access control (RISD-MAC) protocol is thus proposed to adjust the wakeup time of the intended receiver adaptively based on the wakeup schedule of its upstream sender, which guarantees the rendezvous of data delivery of both sides to achieve communication efficiency. The simulation results show that compared with RI-MAC, a state-of-the-art medium access control protocol in wireless sensor networks, RISD-MAC achieves less delivery latency and lower duty cycle while maintaining comparable packet delivery ratio.

Keywords Wireless sensor networks, Medium access control, Receiver initiated, Delivery latency, Wakeup schedule

1 引言

无线传感器网络因其低功耗、低成本、分布式和自组织的特点,越来越受到人们的重视,其应用涵盖了军事反恐、交通能源、抢险救灾、环境监测、医疗保健、家居生活、工业商业等各个不同领域,有着十分广阔的应用前景^[1]。由于节点能量受限,无线传感器网络要尽可能高效地利用能量,作为协议栈基础的媒体接入控制(Medium Access Control, MAC)协议就显得尤为重要。如何设计一个高能效的 MAC 协议来协调竞争节点的信道接入一直以来就是人们关注的热点问题^[2]。

异步的由接收方发起的 MAC 协议由于其低复杂性、低占空比、高吞吐量等特点,得到越来越广泛的应用^[3]。在异步协议设计中,提升协议性能的一个关键问题就是如何协调发送方与接收方之间的唤醒调度,使之能够更好地进行数据收发之间的衔接与配合,从而提升系统容量,降低传输时延。对

传统的异步的由接收方发起的 MAC 协议而言,发送节点需要根据接收节点的唤醒调度调整自己的唤醒时间,从而使自己的数据发送能够与接收节点的数据接收相匹配。从这个意义上讲,接收节点在传输过程中占据主导地位,数据的传输时延主要由接收节点的休眠调度决定。正是由于处于支配地位,接收节点不会主动调整自己的唤醒策略来迎合发送节点的数据传输,而发送节点则希望能尽快将数据发送出去,减少传输延迟,提高传输效率,但其数据传输却不取决于自己,而是由接收节点来决定,由此导致了矛盾。究其原因,关键在于接收节点在数据传输过程中占据主导地位。从唤醒调度上看,发送节点是受接收节点支配的,即发送节点的数据发送取决于接收节点选择何时接收数据。这一点如果不改进,很难从根本上提高协议的传输效率。

针对该问题,本文提出一个由接收方发起发送方主导的无线传感器网络 MAC 协议(Receiver-Initiated Sender-Domi-

本文受湖北省自然科学基金,基于网络编码的无线传感器网络能源效率路由技术研究(2013CFB035),湖北省教育厅科研计划重点项目,无线传感器网络 MAC 协议研究(D20132202),湖北省教育厅科研计划重点项目,无线传感网不确定数据融合关键技术及智能模型研究(D20121904)资助。张棋飞(1977—),男,博士,副教授,主要研究方向为无线传感器网络、机会网络等,E-mail: cheffly@hbue.edu.cn;戴志锋(1967—),男,博士,副教授,主要研究方向为集群计算与无线通信;桂超(1965—),男,硕士,教授,主要研究方向为网络计算与分布式处理。

nated MAC Protocol, RISD-MAC)。RISD-MAC 采取由发送方主导的传输策略,通过主动调整接收节点的唤醒调度来配合发送节点的数据传输,减少发送节点的信道侦听时间,从而获得更低的传输时延和更少的能耗。

2 相关工作

近年来,出现了许多基于占空比(Duty Cycle)的无线传感器网络 MAC 协议,通过在节点活动状态与休眠状态之间的切换降低能量消耗^[4]。基于占空比的 MAC 协议可以分成两类,即同步(Synchronous)协议和异步(Asynchronous)协议。同步协议^[5-7]通过同步的手段统一调度节点的休眠与活跃时间,使得节点能够在共同的活跃期内唤醒进行数据传输^[8]。该方法能减少节点的空闲侦听时间,但需要引入同步机制,增加了复杂性,带来了开销;同时,采用固定唤醒周期的方式不能适应网络流量的频繁变化。

异步协议则无需节点间同步,降低了系统的复杂性。每个节点独立决定自己的唤醒调度,能够获得较低的占比空^[9]。异步 MAC 协议可以分成两类,即发送方发起(Sender-Initiated)的 MAC 协议(如 B-MAC^[10], X-MAC^[11], WiseMAC^[12]等)和接收方发起(Receiver-Initiated)的 MAC 协议(如 RI-MAC^[13], PW-MAC^[14]等)。

在发送方发起的 MAC 协议中,通信往往由发送方主动发起。B-MAC^[10]在发送数据前先发送一段固定长度的前导(Preamble)信号,其长度要大于接收方的睡眠时长,从而确保接收方在唤醒后会收到该信号,同时抑制其他节点的发送。WiseMAC^[12]允许接收节点在其确认帧中捎带下次唤醒时间,使发送方了解每个下游节点的采样调度,进而缩短前导长度。X-MAC^[11]则通过定义频闪前导(Strobed Preamble)进一步缩短前导长度,避免过度侦听,同时,发送方将目的地址放入频闪前导中,非目的节点尽早丢弃分组并进入睡眠,目的节点则利用前导之间的间隙向源节点发送早期确认从而节省时间。

发送方发送的前导序列会抑制非目的节点间的通信,造成吞吐量下降,于是出现了由接收方发起的 MAC 协议。在接收方发起的 MAC 协议中,一旦有数据需要传输,发送节点就保持唤醒状态,等待接收方发来的信号。接收节点按照自己的调度进行休眠唤醒,唤醒后主动发送一个信令 Beacon,用以通知发送节点发送数据。由于该信令较前导信号更短,可以减少传输延迟,且由于发送方在数据发送前不会发送其他信号,因此不会抑制其他节点间的数据传输。RI-MAC^[13]就是一个典型的由接收方发起的 MAC 协议。在 RI-MAC 中,接收节点唤醒后就在信道上广播一个 Beacon 信令,通知发送方发送数据。由于发送节点会一直保持活跃,一旦收到来自接收方的信号后就立刻开始数据传输。倘若在规定时间内没有收到发送方发来的数据,接收节点会再次进入睡眠状态。采用该方式可以保证接收节点在开始接收数据前信道是空闲的。PW-MAC^[14]在 RI-MAC 的基础上增加了预测机制,使发送节点可以预测接收节点的唤醒时间,从而在接收节点唤醒前提前唤醒,开始数据传输,避免能量过度消耗。

3 RISD-MAC 协议设计

3.1 唤醒方式

接收方发起的 MAC 协议要求发送节点在接收节点之前

唤醒,这样才能捕捉到由接收节点发出的数据传输开始的信号^[15]。发送节点提前唤醒的方式一般有两种,即接收方主导唤醒方式(Receiver-Dominated Wakeup)和发送方主导唤醒方式(Sender-Dominated Wakeup)。

接收方主导唤醒方式是指接收节点作为数据的接收方,在数据传输过程中自主设定自身的唤醒调度;而作为数据的发送方,发送节点应该根据接收节点的调度周期来调整自己的唤醒时刻,从而能够在接收方唤醒前提前唤醒,做好数据传输准备。现有的接收方发起的 MAC 协议主要采用这种唤醒方式。

发送方主导唤醒方式是指发送节点的唤醒调度由其自主设置,接收节点需要根据发送节点的唤醒周期动态调整自己的唤醒调度,以便能够在发送节点唤醒后立刻唤醒,发送 Beacon 信令,接收来自于发送节点的数据传输。RISD-MAC 协议即采用该唤醒方式。

与接收方主导唤醒方式相比,发送方主导唤醒方式确立了发送节点在数据传输过程中的支配地位,明确数据传输应以发送方为主,接收方的唤醒时间需要根据其上游发送节点的周期调度进行自适应调整,以配合发送节点的数据发送,从而减少传输时延,提高传输效率。

3.2 协议设计

在 RISD-MAC 协议中,节点有 3 种不同的调度模式,即主动调度模式(Active Schedule Mode)、被动调度模式(Reactive Schedule Model)以及唤醒加速模式(Wakeup Acceleration Model),如图 1 所示。系统初始化时,节点处于主动调度模式,按照自身的调度策略进行休眠唤醒。当收到上游节点发来的数据,并且从其捎带(Piggyback)的信息中得知发送节点随后的唤醒调度后,下游节点切换至被动调度模式,主动调整自己的预设唤醒时间以与其上游节点相匹配。在随后的数据传输过程中,一旦出现了接收方提前唤醒的情况(即接收节点发送 Beacon 后没有收到预期的 Data),接收节点立刻进入唤醒加速模式,重设自己下次唤醒的时间,以期能快速与发送节点相匹配。通信结束后,发送节点会在发送的最后一帧中捎带结束标志。收到该信息后,接收节点重新进入主动调度模式。

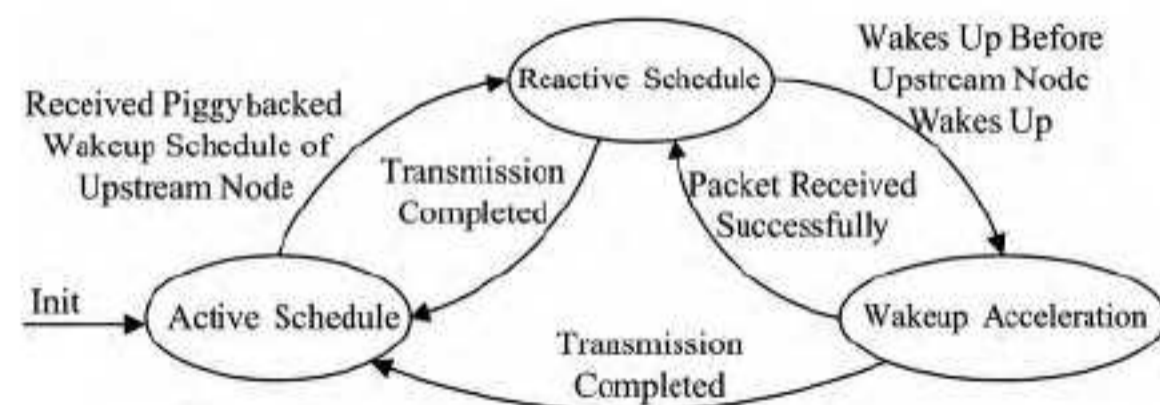


图 1 有限状态机

从通信方式看,RISD-MAC 协议依然采用接收方发起的形式,即发送节点一旦有数据需要发送,立刻唤醒,随时准备接收来自于接收方的信令。接收节点首先按照自身的调度进行休眠唤醒,唤醒后会主动发送一个信令通知发送方发送数据。倘若在规定时间内没有收到任何数据,接收节点重新进入休眠状态,等待下次唤醒。发送节点在收到来自接收节点的信令后,立刻开始数据传输,同时将自己下次唤醒的时间捎带在数据帧中一并发送给对方。接收节点收到该信息后,切换至被动调度模式,根据发送方下次的唤醒时间动态调整自己的唤醒调度,从而能够在发送节点唤醒后立刻唤醒,发送 Beacon 信令,开始数据传输。由于存在时钟漂移及缺乏全局

同步机制等问题,节点间会存在一定的时间误差,可能导致接收节点按照重新设定的时间唤醒后却没有收到预期的来自发送方的数据,则接收节点进入唤醒加速模式,主动将自己下次唤醒的时间压缩为当前时间值的一半,从而缩短睡眠时间以快速匹配发送节点的数据传输。接收节点的工作流程图如图2所示。

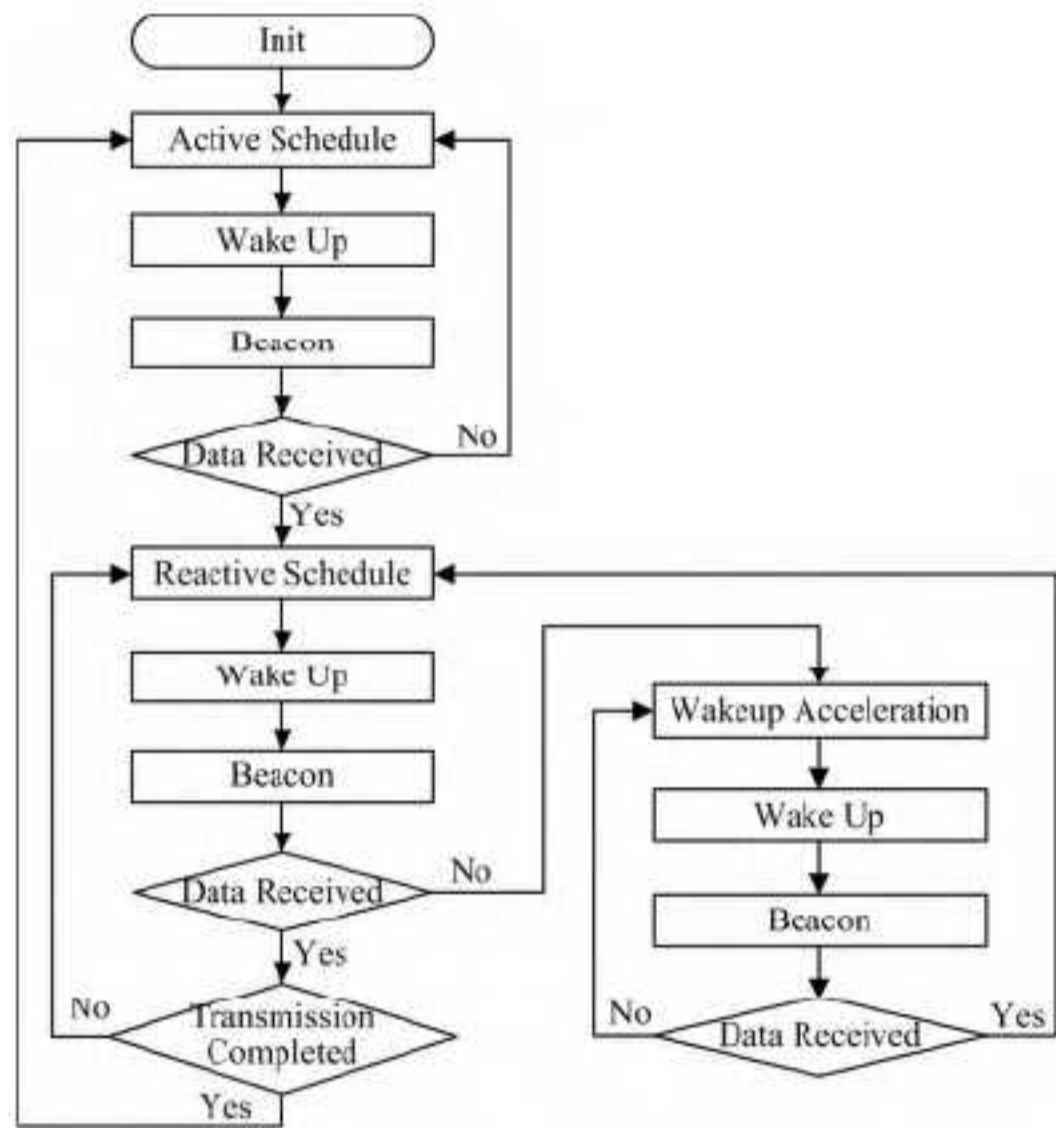


图2 接收节点流程图

在 RISD-MAC 协议调度下,接收方能以较短的时间响应发送方的数据传输,在缩短自己睡眠时间的同时也减少了发送节点持续侦听信道的时间,降低了能耗。

3.3 时延定义

一般来讲,时延受很多因素影响,如传输距离、跳数、节点分布密度、速率、节点能量、MAC 协议、路由协议等。从协议栈的角度来看,MAC 协议控制着节点的信道接入^[16],决定着单跳时延,网络层协议负责路由选择,控制着多跳时延^[17]。

用 $G = \{V, E\}$ 表示无线传感器网络, V 代表节点集合, E 表示无线链路集合。定义端到端传输时延 (End-To-End Delivery Latency) 为从源节点有数据包发送开始直到目的节点接收到该数据包为止所经历的时间。在无线传感器网络环境中,无线传输路径通常是由多条单跳链路构成,因此有:

$$T_{s,D} = \sum_{i=S, j=S+1}^{i=D-1, j=D} L(i, j) \quad (1)$$

且

$$n_i, n_j \in V, (n_i, n_j) \in E \quad (2)$$

$T_{s,D}$ 表示从源节点 S 到目的节点 D 所经历的端到端传输时延, n_i, n_j 分别是相邻的上下游节点, $L(i, j)$ 表示链路 (i, j) 上的单跳传输时延,即从上游节点 i 收到数据开始到下游节点 j 收到数据为止所经历的时延,满足:

$$L(i, j) = Proc(i, j) + Que(i, j) + ChanAcc(i, j) + Trans(i, j) + Prop(i, j) + Rec(i, j) \quad (3)$$

其中, $Proc(i, j)$ 为处理时延, $Que(i, j)$ 为排队时延, $ChanAcc(i, j)$ 为信道接入时延, $Trans(i, j)$ 为发送时延, $Prop(i, j)$ 为传播时延, $Rec(i, j)$ 为接收时延。由于处理时延、接收时延以及传播时延都受硬件影响较大,MAC 协议应该从排队方式及信道接入策略等方面入手来考虑减少端到端传输时延^[17]。

3.4 信道接入策略对时延的影响

接下来以 MAC 协议为研究对象,着重分析不同的信道接入策略对传输时延的影响。对异步协议而言,由于节点间的唤醒调度不同步,在考虑信道接入时延时,重点考虑节点之间由于等待对方唤醒而引入的时延。在传统 MAC 协议中,上游节点需要等待其下游节点唤醒后才能进行数据传输,因此节点的信道接入时延主要是由该唤醒时延决定,即在忽略其他因素的影响下,有:

$$L(i, j) = WakeUp(i, j) + Trans(i, j) \quad (4)$$

其中, $WakeUp(i, j)$ 表示上游节点 i 等待其下游节点 j 唤醒所需的时间,取决于下游节点 j 的唤醒调度。假设节点的唤醒时间在区间 $[0, DurationOfSleep]$ 上服从均匀分布,则其平均唤醒时间满足:

$$E(WakeUp) = \frac{DurationOfSleep}{2} \quad (5)$$

从式(1)~式(5)可以得出传统协议的总时延满足:

$$T_{s,D} = \sum_{i=S, j=S+1}^{i=D-1, j=D} Trans(i, j) + \frac{DurationOfSleep}{2} \times n \quad (6)$$

其中, n 表示从 S 到 D 经过的链路总数。由此可知,除了发送时延外,传统 MAC 协议的时延还与经过的链路数目及节点的休眠时间相关。

再来分析 RISD-MAC 机制。上游节点收到数据后唤醒,等待下游节点发送信令。在 RISD-MAC 的调度下,下游节点提前掌握了上游节点的下次唤醒时间,它会主动根据其上游节点的休眠时间调度来调整自己的唤醒时间,于是下游节点会紧接着也唤醒,发送 Beacon 信令,开始接收上游节点发来的数据。因此,对链路 (i, j) 而言,其单跳传输时延满足:

$$L(i, j) = \delta_{i,j} + Trans(i, j) \quad (7)$$

$\delta_{i,j}$ 表示下游接收节点 j 的唤醒时间 $WakeUp_j$ 与上游发送节点 i 的唤醒时间 $WakeUp_i$ 之间的差值,即

$$\delta_{i,j} = |WakeUp_j - WakeUp_i| \quad (8)$$

满足:

$$0 \leq \delta_{i,j} \leq \Delta \quad (9)$$

Δ 代表唤醒时间极限差值。由此可以得到 RISD-MAC 协议端到端的传输时延:

$$T_{s,D}(RISD-MAC) = \sum_{i=S, j=S+1}^{i=D-1, j=D} Trans(i, j) + n \times \delta_{i,j} \leq \sum_{i=S, j=S+1}^{i=D-1, j=D} Trans(i, j) + n \times \Delta \quad (10)$$

3.5 Δ 值评估

从以上分析不难看出,上下游节点之间唤醒时间的极限差值 Δ 对协议的时延性能有较大影响。通过上下游节点之间的协调,尽可能使节点唤醒时间之间的差值趋近于 0,这样能够获得更好的时延性能。一般而言,我们希望上游节点 i 的唤醒时间 $WakeUp_i$ 比下游节点 j 的唤醒时间 $WakeUp_j$ 要早,这样就能够保证下游节点唤醒后发送的 Beacon 信令被其上游节点捕获,如图 3 所示。

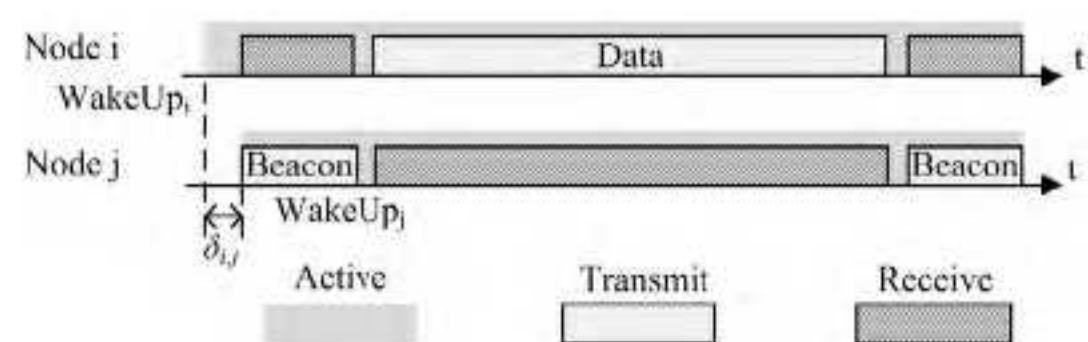


图3 唤醒时间示意图(节点 i 在节点 j 之前唤醒)

然而由于缺少全局性同步机制,加上时间漂移问题引入的误差,导致各节点的时间存在着一定的偏差,有可能使下游节点在上游节点唤醒之前提前唤醒并发送 Beacon,从而导致上游节点唤醒后无法收到该 Beacon 信令而需要继续等待。

如图 4 所示,下游节点 j 在 $WakeUp_j$ 时刻唤醒发送 Beacon,节点 i 随后在 $WakeUp_i$ 时刻唤醒。由于错过了 Beacon 的完整接收,节点 i 只能继续保持唤醒状态直到节点 j 的下次唤醒时刻 $WakeUp_j$ 。

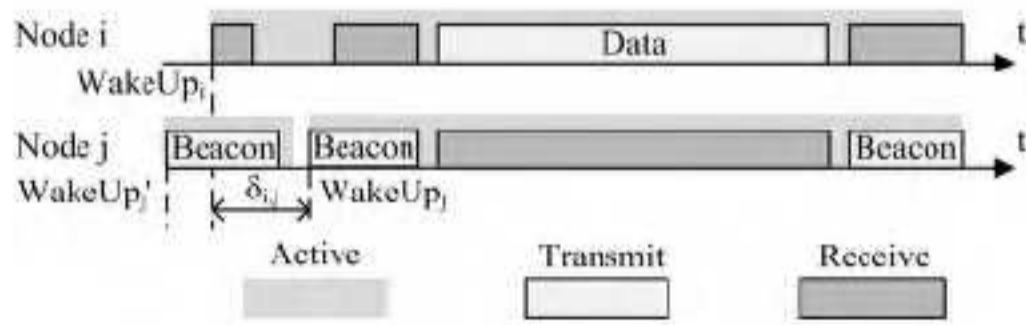


图 4 唤醒时间示意图(节点 j 在节点 i 之前唤醒)

在 RISD-MAC 作用下,如果下游节点在发送 Beacon 后没有收到预期的数据,说明其上游节点尚未进入唤醒状态,于是下游节点进入加速唤醒模式,即将自己下次唤醒的时间重设为预设唤醒时间值的一半,从而减少休眠时间,以快速匹配发送节点的传输调度。因此, Δ 值的取值范围可以确定为:

$$\Delta \in [0, DurationOfSleep/2] \quad (11)$$

联合式(10)、式(11)可知 RISD-MAC 协议的传输时延满足:

$$\begin{aligned} T_{s,D}(\text{RISD-MAC}) &\leq \sum_{i=S, j=S+1}^{i=D-1, j=D} Trans(i, j) + n \times \Delta \\ &\leq \sum_{i=S, j=S+1}^{i=D-1, j=D} Trans(i, j) + \\ &\quad \frac{DurationOfSleep}{2} \times n = T_{s,D} \quad (12) \end{aligned}$$

由此可见, RISD-MAC 协议的传输时延比传统 MAC 协议要小。

4 性能评估

4.1 实验模型

利用 ns-2 仿真平台进行实验,以一个典型的接收方发起的 MAC 协议 RI-MAC 为参照,对比分析 RISD-MAC 协议的性能。实验参数如表 1 所列。

表 1 实验参数

参数	值	参数	值
Bandwidth	200Kbps	Beacon Size	6Bytes
SIFS	192 μ s	ACK Size	5Bytes
Data Size	50Bytes	CCA Check Delay	128 μ s
Tx Range	250m	Carrier Sensing Range	550m

100 个节点随机分布在一个 1000m \times 1000m 的方形区域内, Sink 节点位于区域的几何中心。采用随机事件相关流量模式(Random Correlated-Event, RCE)^[7], 节点的感知范围设为 250m, 事件每隔 100 秒触发一次。每一个位于事件感知半径范围内的节点检测到该事件后就会向 Sink 节点发送数据, 该数据经过节点间的多跳中继最终到达 Sink 节点。

4.2 传输时延

为了衡量协议在不同负载下的时延性能,我们设定节点的发送速率从 1pkt/s 逐渐变化到 8pkt/s, 得到端到端传输时延结果如图 5 所示。

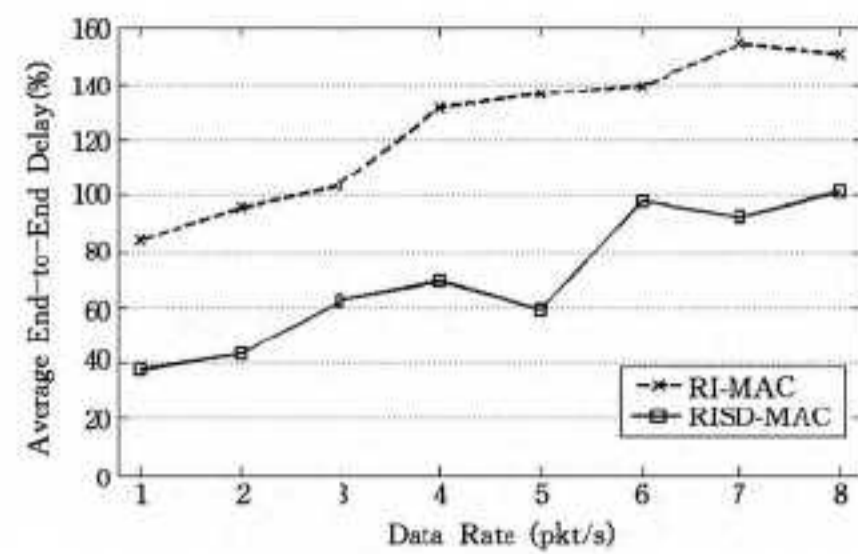


图 5 传输时延性能比较

从图 5 中可以看出,在不同的速率下, RISD-MAC 协议的传输时延持续较 RI-MAC 协议要小,说明 RISD-MAC 协议在改善传输时延性能方面的有效性。得益于 RISD-MAC 协议的发送方主导唤醒方式,接收节点主动调整自身的唤醒调度以适应发送节点的节奏,从而有效减少了发送节点在数据发送前需要等待的时间,降低了时延。

4.3 占空比

平均占空比(Average Duty Cycle)定义为节点唤醒时间占总时间的比例。通常占空比越小,能耗就越低。与发送方发起的 MAC 协议相比,在接收方发起的 MAC 协议中,由于接收节点只在需要接收数据时才唤醒,因此其占空比一般不大,此处我们重点对发送节点的占空比展开讨论。

改变环境中的数据流量,使之同时能够产生 1 到 4 个不同的并发数据流,考察在这 4 种不同的流量状况下发送节点的占空比情况,实验结果如图 6 所示。

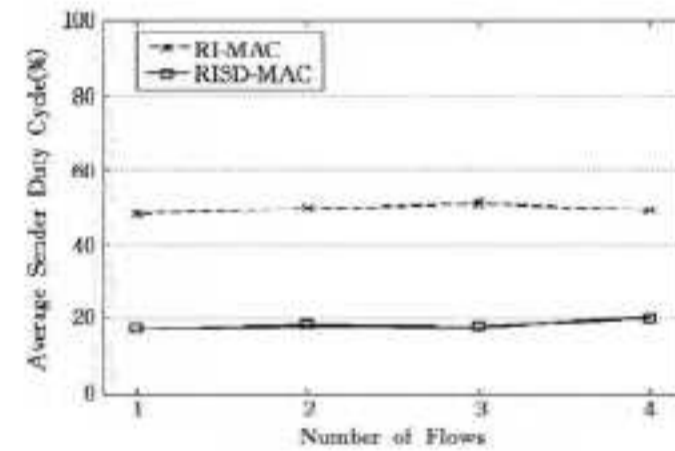


图 6 发送节点占空比性能比较

可以看出, RISD-MAC 协议的占空比只有 RI-MAC 协议的约 37% 左右,这是因为 RISD-MAC 协议主动调整了接收方的唤醒时间,使之能够根据发送方的时间调度提前唤醒,接收来自发送方的数据,从而缩短了发送方发送数据前需要持续等待的时间,降低了发送节点的占空比。尤其当发送节点错过了接收节点发送的 Beacon 信令时, RISD-MAC 协议采用了唤醒加速机制,有效缩短了接收节点下次唤醒需要等待的时延,也相应减少了发送节点持续保持活跃的时间,有效降低了占空比。

4.4 分组投递率

分组投递率性能比较结果如图 7 所示。从图中可以看出,在不同的网络流量负载情况下, RISD-MAC 协议和 RI-MAC 协议的分组投递率都接近 100%, 表明这两个协议在冲突解析及分组重传方面的有效性。

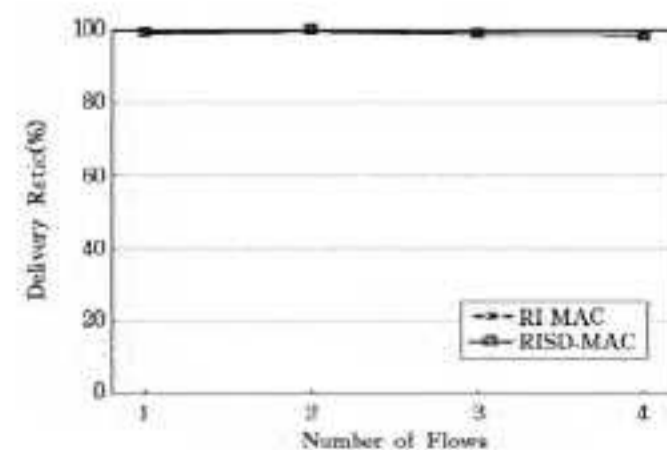


图 7 投递率性能比较

(下转第 331 页)

- [6] 王永贵, 韩瑞莲. 基于改进蚁群算法的云环境任务调度研究[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(5): 1203-1211
- [7] Iyer R, Illikkal R, Tickoo O, et al. VM3: Measuring, Modeling and Managing VM Shared Resources[J]. Computer Networks, 2009, 53(17): 2873-2887
- [8] Freeman T, Keahey K. Flying Low: Simple Leases with Workspace Pilot[C]// Proc of the 14th International Euro-Par Conference on Parallel Processing. Berlin: Springer-Verlag, 2008: 499-509
- [9] Buyya R, Yea C S, Venugopal S. Market-Oriented Cloud Computing: vision, hype and reality for delivering IT services as computing utilities[C]// Proc of the 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications. 2008: 1-12
- [10] Buyya R, Yea C S, Venugopal S, et al. Cloud Computing and Emerging IT Platforms: vision, hype and reality for delivering computing as the 5th utility[J]. Future Generation Computer Systems, 2009, 25(8): 599-616
- [11] He Xiao-shan, Sum Xian-he, vol Laseewski G. QoS Guided Min-Min Heuristic for Grid Task Scheduling[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2003, 18(4): 442-451
- [12] Chanhan S S, Joshi R C. A Heuristic for QoS Based Independent Task Scheduling in Grid Environment[C]// Proc of International Conference on Industrial and Information Systems. 2010: 102-106
- [13] Xu Meng, Cui Li-zhen, Wang Hai-yang, et al. A Multiple QoS Constrained Scheduling Strategy of Multiple Workflows for Cloud Computing[C]// Proc of IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications. 2009: 629-634
- [14] Prodan R, Wicczorek M, Fard H M. Double Auction-Based Scheduling of Scientific Applications in Distributed Grid and Cloud Environments[J]. Journal Grid Computing, 2011, 9(4): 531-548
- [15] Mezma M, Melab N, Kessaci Y, et al. A Parallel Bi-objective Hybrid Metaheuristic for Energy-Aware Scheduling for Cloud Computing Systems[J]. Parallel Distributed Computing, 2011, 71(1): 1497-1508
- [16] Wang Jin-ting. Reliability Analysis of M/G/1 Queues with General Retrial Times and Server Breakdowns[J]. Progress in Natural Science, 2006, 16(5): 464-473
- [17] 孙荣桓, 李建. 排队论基础[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [18] Nash J. The Bargaining Problem [J]. Econometrica, 1950, 18(2): 155-162
- [19] Muthoo A. Bargaining Theory with Applications [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1999
- [20] 王勇, 李凯, 刘美林. 基于可靠性和非合作博弈的计算网格任务调度方法[P]. 中国发明专利, 2012
- [21] Chow Y C, Kohler W H. Models for Dynamic Load Balancing in A Heterogeneous Multiple Processor System[J]. IEEE Transaction on Computers, 1979, 28: 354-361

(上接第 310 页)

结束语 在异步的基于占空比的无线传感器网络 MAC 协议设计中, 提升协议性能的一个关键问题就是如何协调发送方与接收方之间的唤醒调度, 使之能够更好地进行数据收发之间的衔接与配合, 从而降低传输时延, 提升系统性能。本文分析了传统协议中接收方主导唤醒模式对传输时延的影响, 提出一个发送方主导的唤醒策略, 并以此为基础设计 RISD-MAC 协议。RISD-MAC 协议使接收方能够根据发送方的唤醒调度自适应调整自己的唤醒时间, 以匹配发送方的数据发送, 从而降低传输时延, 提高传输效率。仿真结果表明, 同 RI-MAC 协议相比, RISD-MAC 协议能够在保证分组投递率的情况下, 减少传输时延, 降低占空比。

参 考 文 献

- [1] Hu Fei, Cao Xiao-jun. Wireless Sensor Networks: Principles and Practice [B]. Auerbach Publications, 2010
- [2] Akyildiz I F, Vuran M C. Wireless Sensor Networks [B]. John Wiley & Sons Ltd., 2010
- [3] Pei Huang, Li Xiao, Soltani S, et al. The Evolution of MAC Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(1): 101-120
- [4] 胥楚贵, 邓晓衡, 刘持标, 等. AGQ-MAC: 无线传感器网络中基于 Grid Quorum 的异步低占空比 MAC 协议[J]. 小型微型计算机系统, 2013, 34(10): 2383-2387
- [5] Wei Ye, Heidemann J, Estrin D. An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks [C]// Proceedings of the IEEE INFOCOM. 2002
- [6] Wei Ye, Silva F, Heidemann J. Ultra-Low Duty Cycle MAC with Scheduled Channel Polling [C]// Proceedings of the ACM SenSys. 2006
- [7] Sun Yan-jun, Du Shu, Gurewitz O, et al. DW-MAC: A Low Latency, Energy Efficient Demand-Wakeup MAC Protocol for Wireless Sensor Networks [C]// Proceedings of the ACM MOBIHOC. 2008
- [8] Tang Hong-wei, Cao Jian-nong, Liu Xue-feng, et al. SR-MAC: A Low Latency MAC Protocol for Multi-Packet Transmissions in Wireless Sensor Networks [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2013, 28(2): 329-342
- [9] Tang Hong-wei, Sun Cai-xia, Liu Yong-peng, et al. Low-Latency Asynchronous Duty-Cycle MAC Protocol for Burst Traffic in Wireless Sensor Networks [C]// Proceedings of the IEEE IWC-MC. Sardinia, 2013
- [10] Polastre J, Hill J, Culler D. Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks [C]// Proceedings of the ACM SenSys. 2004
- [11] Buettner M, Yee G V, Anderson E, et al. XMAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks [C]// Proceedings of the ACM SenSys. 2006
- [12] El-Hoiydi A, Decotignie J-D. WiseMAC: An Ultra Low Power MAC Protocol for Multi-hop Wireless Sensor Networks [C]// Proceedings of the ALGOSENSORS. 2004
- [13] Sun Yan-jun, Gurewitz O, Johnson D B. RI-MAC: A Receiver Initiated Asynchronous Duty Cycle MAC Protocol for Dynamic Traffic Loads in Wireless Sensor Networks [C]// Proceedings of the ACM SenSys. 2008
- [14] Tang Lei, Sun Yan-jun, Gurewitz O, et al. PW-MAC: An Energy-Efficient Predictive-Wakeup MAC Protocol for Wireless Sensor Networks [C]// Proceedings of the IEEE INFOCOM. 2011
- [15] Yick J, Mukherjee B, Ghosal D. Wireless Sensor Network Survey [J]. Elsevier Computer Networks, 2008, 52(12): 2292-2330
- [16] 张棋飞, 刘威, 孙宝林, 等. 基于冲突分类模型的冲突解析算法[J]. 软件学报, 2010, 21(3): 548-563
- [17] Doudou M, Djenouri D, Badache N. Survey on Latency Issues of Asynchronous MAC Protocols in Delay-Sensitive Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(2): 528-550