·移动互联与通信技术·　　文章编号：1000-3428(2017)09-0156-06　　文献标志码：A　　中图分类号：TP393

基于数据链路优化裁决与网络预编码的 WSN MAC 优化算法

高　霞[a]，李瑞俊[b]

（集宁师范学院 a. 数学系；b. 计算机科学系，内蒙古 乌兰察布，012000）

摘　要： 无线传感器网络数据链路层协议难以预测数据汇聚链路，且未引用预编码机制，导致其存在严重传输抖动。为此，提出一种新的无线传感网 MAC 优化算法。结合链路探测时间及网络链路接收信号强度指示器值的方式构建瞬时搜寻窗口，通过该瞬时搜寻窗口对当前网络链路状况进行匹配及评估分组投递情况，从而提高其对突发链路波动异常的反馈速度。基于评估链路稳定性，定义数据传输规则，采取自适应匹配实现在瞬时搜寻窗口内的数据稳定传输。引入网络预编码，改善网络节点及链路的利用效率，优化数据传输流程，有效增加数据链路节点的编码机会，以减缓网络中的流量峰值对中继节点的影响，实现网络数据在 MAC 层中的高效稳定传输。测试结果表明，与 MAC 算法进行对比，该算法具有较高的单位时间数据吞吐率，且拥塞节点数量更少，数据分组投递延时水平更低。

关键词： 无线传感器网络；数据链路层协议；传输抖动判断；预编码；瞬时搜寻窗口；链路评估

中文引用格式： 高　霞，李瑞俊. 基于数据链路优化裁决与网络预编码的 WSN MAC 优化算法[J]. 计算机工程，2017，43(9)：156-161，166.

英文引用格式： GAO Xia，LI Ruijun. MAC Optimization Algorithm for Wireless Sensor Networks Based on Data Link Optimization Decision and Network Precoding[J]. Computer Engineering，2017，43(9)：156-161，166.

MAC Optimization Algorithm for Wireless Sensor Networks Based on Data Link Optimization Decision and Network Precoding

GAO Xia[a]，LI Ruijun[b]

（a. Department of Mathematics；b. Department of Computer Science，Jining Teachers College，Wulanchabu，Inner Mongolia，012000，China）

【Abstract】 In order to solve the difficulty to predict data aggregation link and the serious transmission jitter problem induced by ignoring the precoding mechanism in the data link layer protocol of Wireless Sensor Network (WSN)，this paper presents a new data link optimization protocol of wireless sensor network. First，a search window is constructed by Link detection time and Network link received signal strength indicator value，then the matching and evaluate packet delivery conditions of current network link status are done through the instant search window to improve the feedback speed of the abnormal burst，then data transmission rules are defined based on the evaluation of link stability to achieve stable data transmission in instantaneous search window. Then the network precoding is introduced to improve the utilization efficiency of network nodes and links for optimizing the data transfer process and increasing the data link node encoding opportunities so as to mitigate the peak flow in the network of relay nodes and achieve efficient and stable data transmission in the MAC layer. Test results show that this algorithm has higher data throughput rate per unit time，less number of congestion nodes，and lower data packet delivery delay compared with MAC algorithm.

【Key words】 Wireless Sensor Network(WSN)；data link layer protocol；transmission jitter judgment；precoding；instant search window；link evaluation

DOI： 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.09.028

0　概述

随着芯片微电子技术的不断发展与演进，特别是在 5G、长期技术演进(Long Term Evolution，LTE)等为代表的超高速通信技术的推动下，无线传感网的运行质量、控制能力有了明显的飞跃，取得了显著的经济效益及社会效益[1]。由于当前芯片发展水平所限，特别是固化到芯片中的媒体访问控制(Media

基金项目： 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZC14292，NJZY283)。

作者简介： 高　霞(1982—)，女，讲师、硕士，主研方向为无线传感器网络；李瑞俊(通信作者)，副教授、硕士。

收稿日期： 2016-04-26　　**修回日期：** 2016-06-03　**E-mail：** gaoxia1982mjl@sina.com

Access Control,MAC)层控制访问协议难以减缓数据链路层的数据链路抖动效应,且存在数据吞吐性能不高、编码过程复杂等实际问题,使得网络组网及数据传输过程中的成本代价较大,在一定程度上减缓了无线传感网的部署价值[2]。

为改善当前研究过程中遇到的难题,通过一定的 MAC 层技术改善传感网络的数据吞吐性能,降低编码过程中的复杂程度,成为当前无线传感网的研究热点之一[3]。如文献[4]提出一种基于事件冲突概率检测机制的 MAC 层优化算法,通过降低不同节点对同一数据传输事件重复进行,实现了对数据的优化传输。然而,该 MAC 层优化算法由于在检测过程中的实时性要求较高,数据繁忙时数据传输冲突发生概率将提高,数据传输效率也随之受到较大影响。文献[5]提出一种基于前导侦听机制的改进 MAC 协议,通过将一定既定序列插入侦听结构的方式,有效地对数据实现错峰调度,提高了传感节点在数据传输高峰时期的传输效率。但由于该协议对空闲数据的调度考虑不足,导致数据传输强度较低时难以实现资源的充分利用。文献[6]基于集中流量感知机制提出一种 MAC 流量优化算法,通过引入均衡负载机制有效地降低了数据因拥塞等现象而发生重传的可能性。但该算法对数据链路抖动性能考虑不足,当数据流量短时间能持续增大时,往往会发生比较严重的拥塞现象,导致节点在数据的生命周期内不得不反复进行数据重传,降低了算法的实用效果。

对此,本文基于数据链路优化裁决及网络预编码机制,提出一种无线传感网 MAC 数据优化算法,利用瞬时搜寻窗口与网络预编码来提高数据传输的质量。

1　无线传感网 MAC 层数据传输性能分析

对于任何一种 MAC 层协议,均需要通过数据链路层来分析其数据传输,因此,本文对数据传输模型做出如下假设:

1)无线传感网的传感节点分布具有一定的随机性,即在节点散步区域足够大时,节点的分布密度收敛于一定的特定密度数值[7-8]。

2)传感节点在收发数据时,均按照分组投递思想,从内存中读取一定长度的分组数据后,在一定的数据生命周期之内投递出去。若发生严重的延时现象,则将对生命周期终止后的数据分组进行丢弃处理值[9-10]。

3)节点在进行数据传输时有一定的概率发生信道竞争现象,但是同一节点上处于竞争状态的数据分组的相似性将收敛于 1[11-12]。

1.1　数据吞吐量分析

不妨设传感节点 i 在投递数据分组时成功投递的概率为 μ,且当前网络中存在与 i 具有竞争关系的节点共有 k 个,这些竞争节点均有一定的概率 α 参与对数据分组投递的竞争,在实际的网络环境中,随着网络环境运行时间的足够长,整个网络中参与数据投递的节点数将收敛于 αk,因此,仅有剩下的节点能够参与到对数据分组的处理过程中,故当前数据分组被成功投递的概率 μ 为:

$$\mu = \alpha k (1-\alpha)^{1-K} \tag{1}$$

设数据分组的最大生命周期为 T,则当前数据分组在其生命周期内被成功投递时发生的延时 t 满足:

$$t = \mu T = T\alpha k (1-\alpha)^{1-K} \tag{2}$$

不妨设节点对于编码长度为 L 的数据分组成功投递率为 Li,且数据分组的传输带宽为 B,则当节点上全部分组数据被投递完成时,整体数据编码长度的平均长度 η 满足:

$$\eta = L\sum_{i}^{k} Li \tag{3}$$

因此,在整个生命周期内,被成功传输的数据分组个数 X_{num} 满足:

$$X_{\text{num}} = Ct/L = \frac{CT}{L}\alpha k (1-\alpha)^{1-k} \tag{4}$$

联立模型式(1)~式(4)可得整条信道在数据分组的生命周期 T 内的的数据吞吐量 D_{Tran} 满足:

$$D_{\text{Tran}} = \frac{\eta X_{\text{num}}}{T} = C\alpha k (1-\alpha)^{1-K}\sum_{i}^{k} Li \tag{5}$$

相关参数定义同式(1)~式(4)。

当网络中的竞争节点个数足够大时,考虑到如下表达式:

$$\lim_{k\to\infty} \alpha k (1-\alpha)^{1-k} = \alpha e^{-1} \tag{6}$$

其中,e 为自然对数。

根据式(5)、式(6)可得,整条信道在数据分组的生命周期 T 内的数据吞吐量 D_{Tran} 的最终表达式为:

$$D_{\text{Tran}} = = C\alpha e^{-1}\sum_{i}^{k} Li \tag{7}$$

考虑到竞争节点的个数越少,则当前节点对数据分组的数据传输成功率也就越高,因此,随着网络中节点个数的不断增加,数据吞吐量也会随之降低,最小数据吞吐量即为式(7)计算得到的数值。从式(7)可知,在难以增加新的容量 C 的情况下,可以通过改善节点对数据处理质量,如提高节点参与竞争的概率、降低网络链路对数据分组投递的影响等方式,优化传感网 MAC 层数据传输性能,从而提高传感网络对各种复杂网络环境的适应性。

1.2　阈值阶数分析

当节点进行数据传输时,可以通过其他节点的辅助来实现数据的有效传输,但是如果辅助节点数量较多时,由于阶数提高,导致同时传递的数据传输冗余副本数量也随之提高。当辅助节点的阶数提高到某个最大阈值之上时,数据传输冗余副本将会导致当前节点处于严重的拥塞状态。此外,随着辅助

节点的阶数提高,当前传输节点在周围能够搜寻到且作为数据传输中继的节点数量也将会随之减小,从整个无线传感网的节点分布而言,此时链路的建立成功率也将随之大大下降。因此,需要能够在阈值阶数上找到一个平衡点,以便实现对数据高效稳定传输的同时,进一步提高数据链路建立的效率。

考虑到网络布设范围足够大时,即整个网络覆盖范围远远大于传感节点的广播半径 R,节点间平均距离为 d,当前传输节点 A_1 将数据传输到下一跳节点 A_2 时,中继节点必定需要处于节点 A_1 与节点 A_2 公共的覆盖区域内,如图 1 所示。此外如果传输节点 A_1 的下一跳传输节点为 A_3,则中继节点必定落在 A_3 的 2 级广播半径 $2R$ 与 A_1 的 1 级广播半径 R 的重合区域内。因此,若整个网络中节点密度为 n,则任意的节点占有的最小覆盖区域的面积大小为 $1/n$。

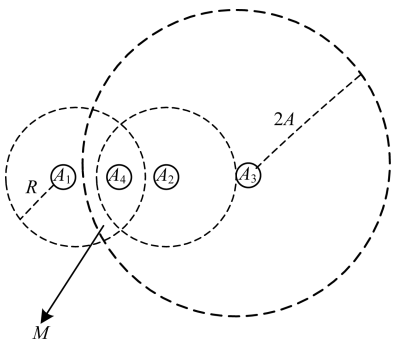


图 1 数据传输示意图

从图 2 可知,如果传输节点 A_1 存在阶数大于 1 的辅助节点,设该节点的覆盖面积为 M,则必有:

$$M > 1/n \tag{8}$$

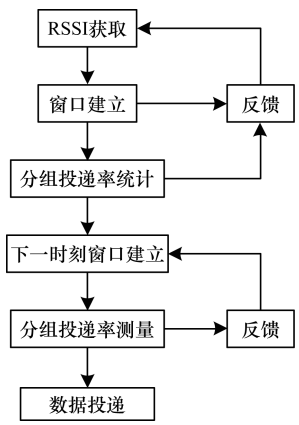


图 2 数据传输链路优化流程

根据图 1 可计算:

$$M = \pi - \arctan\frac{R}{d}\left[(2R-d)^2 - R^2\right] \tag{9}$$

考虑到 $\pi R^2 = 1/n$,联立式(8)、式(9)计算可得:

$$d < 0.83R \tag{10}$$

当节点满足均匀分布,即节点以蜂窝状态进行分布时[13],最大阶数 k 满足:

$$k \leqslant \frac{2d}{d-R} - 3 \tag{11}$$

联立式(10)、式(11)解得:

$$k \leqslant 7 \tag{12}$$

由式(10)、式(12)可知,由于节点间的平均距离 d 不能太低,若距离太低将导致不同节点之间重合区域过大,因此数据传输冗余副本也将由于阶数的增加而迅速扩大,网络的拥塞程度将显著提高。此外,由于阶数最大不能超过 7,因此当阈值阶数设定超过 7 时,传输节点将由于没法搜寻到中继传输节点而导致网络处于严重的拥塞状态。

2 无线传感网 MAC 优化算法

本文算法主要是基于数据链路优化裁决及网络预编码机制对 MAC 层数据进行优化。首先通过瞬时搜寻窗口的探测方式,对数据传输链路进行优化,防止因数据传输抖动导致数据传输受阻的现象;对数据传输过程进行网络编码,降低冗余数据副本对传输过程中的影响。

2.1 数据传输链路优化

大部分 MAC 层优化算法中均采用固定时间检测方式,即通过设定一定的链路生命周期。然后在该生命周期终止之前,不断对当前链路之类进行探测,以便获得当前链路质量,实现对数据传输链路的优化。该种方式对于稳定性较好的网络链路具有很强的适应性,但对于传感网,特别是无线传感网这类拓扑结构变化快、网络链路抖动情况严重的特殊网络而言,采用固定时间检测方式将很难实时获取链路质量,容易导致丢包事件的发生。

考虑到固定时间检测方式的劣势,本文构建瞬时搜寻窗口,将探测时间与网络链路的接收信号强度指示器(Received Signal Strength Indicator,RSSI)值结合,且探测时间 T 随着网络链路的 RSSI 值逐步变化。对于不同质量的网络,固定检测时间可以随着网络参数的不同而有所不同,若网络状态非常稳定,则固定检测时间可以稍微小一些,从 MAC 数据收发角度看,网络需要为搜寻数据而分配的时间片大小为初始探测时间 $T_{\min}$ 与探测过程中所获取的 RSSI 值的乘积,该乘积大小即为链路探测周期内,节点搜寻到其他可用节点的过程中所必须付出的时间成本代价,此外考虑到实际中因网络处于不稳定状态,节点必须在更短的时间内搜寻到可用节点,因此,引入混沌系数,故瞬时搜寻窗口的搜寻时间 T 为:

$$T = \varphi T_{\min}\ RSSI \tag{13}$$

其中,$T_{\min}$ 为初始探测时间;φ 为混沌系数,当网络非常稳定时取 1,非常不稳定时取 0.01。这是因为混沌系数主要用于调整时间片大小,当网络非常稳定

时,说明时间片大小为 ω,此时的混沌系数值可取 1,若网络状态非常不稳定时,诸如典型的无线传感网时间片大小一般处于 200 ms 的级别,见文献[7],取 0.01 时,则时间片大小将降低到 ms 级别以下,此时整个网络实际处于不可工作状态,因此,在本文算法中,当网络状态非常不稳定时,当取 0.01;RSSI 值为当前链路探测中获得的直接数值。

由于瞬时搜寻窗口需要根据式(13)构建,传输节点在不同的瞬时搜寻窗口下均根据窗口长度的不同而决定分组投递率 ω 的大小,因此需要对该分组投递率进行一定的估计,以便提高节点的分组投递性能。

在式(13)的探测窗口内,节点数据分组投递率的估计方式如下:

$$\omega = \delta \overline{Trt} + (1-\delta) Trt \tag{14}$$

其中,δ 表示混沌系数;$\overline{Trt}$表示对上一次瞬时搜寻窗口建立时的分组投递情况的估计值;Trt 为本次瞬时搜寻窗口建立时根据式(13)所获取的分组投递率的测量值。

当本次瞬时搜寻窗口的生命周期结束之后,继续按照式(13)~式(14)继续进行数据传输,直到全部数据被传输为止。详细优化步骤如下:

步骤 1　启动瞬时窗口搜寻建立过程,并开始获取网络的 RSSI 值,获取过程见式(13);转步骤 2。

步骤 2　窗口链接建立成功后,不断计算当前节点的分组投递率,并根据网络状况实时更新 RSSI 值调整瞬时窗口大小,转步骤 3。

步骤 3　当且仅当瞬时窗口大小小于数据传输周期时,算法继续执行到传输周期结束,否则,立即终止数据传输。

2.2　数据传输预编码

对数据链路进行完优化之后,需要针对节点进行数据传输预编码。如图 3 所示,当某个传输节点 A_1 需要分别投递分组数据 L_1 和 L_2,目的节点分别为 B_1 和 B_2。当传输节点 A_1 投递分组数据 L_1 和 L_2 时,分别存在 2 条不同的链路(A_1,C_1,C_2,C_3,B_1)及(A_2,D_1,D_2,D_3,B_2),上述链路中节点的广播范围均处于互相重合的状态。

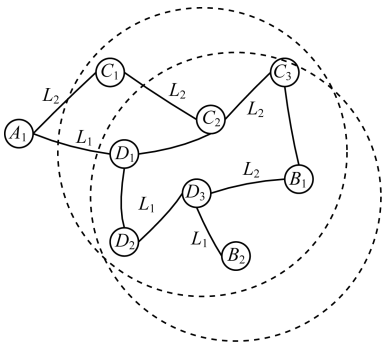


图 3　节点阈值阶数为 2 的情况

因此,中间节点 C_2 和 D_2 将同时接收到来自传输节点 A_1 的分组数据 L_1 和 L_2,因此当节点 C_2 和 D_2 接收到数据后若能进行网络编码,将能够释放出一部分缓存资源,从而大大缓解其他数据传输过程中对信道的竞争。由 1.2 节可知,节点 C_2 和 D_2 互为二阶节点。

当节点阶数进一步扩大,即网络中能够提供同时提供缓存资源的中间节点较多时,相应的节点阶数也随之提高,经过多次广播之后,节点的覆盖范围也随之扩大。由图 4 可知,当节点阈值阶数为 3 时,节点的广播范围也随之扩大,当几乎全部节点均被纳入广播范围之内时,则中继节点将处于不可用状态,网络的拥塞情况也随之显著上升,式(12)计算得到的最佳阈值阶数为 7,即当无线传感网满足均匀分布时,只需要进行 7 次广播,就可以将全部节点纳入编码节点范围,此时将由于中继节点全部被用于编码,导致网络中的链路处于充分竞争状态,产生严重的网络拥塞。

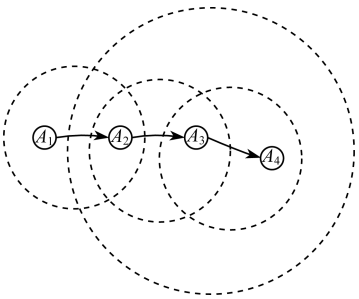


图 4　节点阈值阶数为 3 的情况

当节点阈值阶数为 3 时,若网络中中继节点接收到的数据分组为 L_1 和 L_2,如图 5 所示,不妨设前者为正向传输,后者为逆向传输。

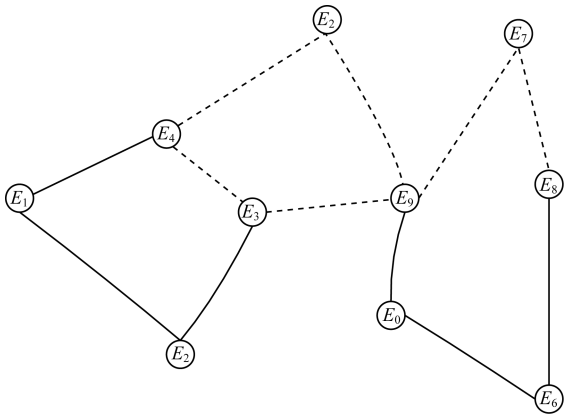


图 5　流量传输链路

如图 5 所示,网络中的中间节点 E_3 接收到数据分组 L_1,若该数据分组来自于 E_1,且其他的中间节点 E_2,E_4,E_5,E_6 同样接收到了数据分组 L_1,则 E_2,E_4,E_5,E_6 与节点 E_3 的阈值阶数相同。按如下编码规则进行预编码:数据分组 L_1 与数据分组 L_2 的上下级节点均需满足隶属关系,即 L_1 的下一跳节点与

L_2 的上一跳节点重合;数据分组 L_1 与数据分组 L_2 的上下级节点与周围的邻居节点满足隶属关系,即数据分组 L_1(L_2)的下一跳节点均在数据分组 L_2(L_1)的邻居节点的广播范围之内。

从图 5 中可知,由于数据传输链路可能存在相同的中继节点,而相同的中继节点可能存在有同阈值阶数的其他节点,因此如果将传输链路完全集中在某一个中继节点上,将极大影响到以该中继节点为传输节点的各条链路的稳定性,然而,此时同阈值阶数其他中继节点将由于得不到传输数据的机会而出于空闲状态,若采用分散式数据发送方式采取广播机制,将待发送的数据分散在其他的同阈值阶数的节点周围,将能大大减缓各条链路的抖动性,防止洪泛流量过分集中在某些节点而导致节点瘫痪的状况发生,因此,定义数据传输规则如下:

1)计算围绕在各个中继节点中同阈值阶数的节点,并将信息写入路由表。

2)按式(6)~式(14)计算全部中继节点的最大同阈值阶数,按式(13)不断进行轮询后,启动数据传输流程。

3)任意中继节点当且仅当成功解码之后,才继续进行数据传输过程。若该中继节点为主要节点,则不断搜寻自身同阈值阶数节点,并从中选取一个作为数据传输中继,若该中继节点为次要节点(某中继节点的同阈值阶数节点),则当且仅当其主要节点无法传输数据时,才从其他同阈值阶数节点中选取一个作为数据传输中继。

此外,当节点启动数据发送流程时,还需要根据式(13)~式(14)生成瞬时搜寻窗口。若任一传输节点传输数据的时刻不在瞬时搜寻窗口之内,说明当前信道处于严重的拥塞状态。需要等待下一个瞬时搜寻窗口建立完成后,再次启动数据发送流程。

3 仿真实验结果与分析

针对当前主要 MAC 算法存在的吞吐性能较低等问题,本文仿真实验首先对最优阈值阶数情况进行仿真对比,验证理论分析的有效性。然后,从单位时间数据吞吐率、拥塞节点数量、数据分组投递延时 3 个指标上,采用 Matlab 工具,与 T-MAC 算法[13]、CD-MAC 算法[14]、SR-MAC 算法[15]进行对比,以便验证本文算法的有效性。仿真详细参数见表 1。

表 1 仿真参数

参数	数值
网络部署区域面积/m^2	102 400×402 800
实验耗时/min	120
节点布设方式	均匀分布
节点是否游走	否
节点密度(个·m^{-1})	<8
数据传输率/(bit·s^{-1})	<128

1)阈值阶数的优化

图 6 显示了不同阈值阶数(k=2,3,4,5,6,7)时本文算法的单位时间数据吞吐率情况,而图 7 显示了不同阈值阶数(k=2,3,4,5,6,7)时本文算法的数据分组投递延时情况。由图 6、图 7 可知,在阈值阶数小于 3 时随着阈值阶数的不断提高,本文算法的单位时间吞吐率也随之提高,而数据分组投递延时存在下降的趋势。这是由于采用了同阈值阶数备份的方式,在一定范围内可通过同阈值阶数传输的方式,减缓网络链路的抖动情况。不过,随着阈值阶数的继续上升,由于越来越多的传感节点被纳入了同阈值阶数节点的范围之内,导致可供传输的中继节点数量过少,因此单位时间吞吐量也随之下降,数据分组投递延时随之上升,这和本文 2.2 节理论分析结果完全一致。

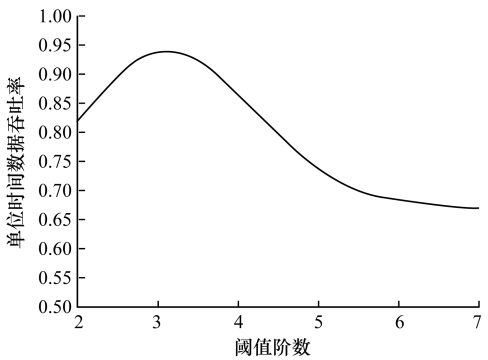


图 6 本文算法的单位时间吞吐率测试结果

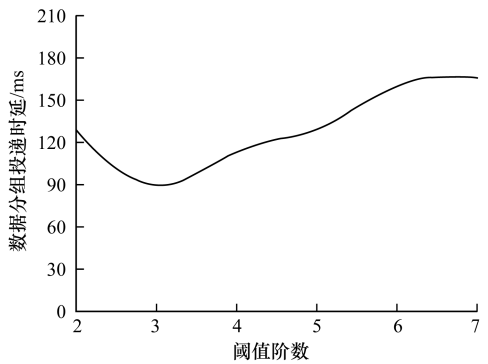


图 7 本文算法的数据分组投递延时测试结果

2)单位时间数据吞吐率测试

图 8 显示了本文算法(阈值阶数为 3)与对照组算法的单位时间数据吞吐率测试结果。由图 8 可知,由于节点密度的不断增加,网络中数据总量也呈现飞速增加的趋势,本文算法与对照组算法均出现了单位时间数据吞吐率下降的趋势。这是由于当网络节点密度稀疏时,各个网络节点均处于空闲状态,传输信道也将由于极少有数据传输,从而能够提供更多的传输资源支持数据传输;随着网络节点密度的上升,处于空闲状态的网络节点及传输信道也不断下降,能够提供较少的资源支持数据传输,因此导

致单位时间数据吞吐率不断下降。然而,本文算法的单位时间数据吞吐率下降幅度有限,对照组算法呈现剧烈下降趋势,这是由于本文算法通过瞬时搜寻窗口的建立,能够迅速地实现对数据传输信道的探测,当网络处于拥塞状态时,能够通过同阈值节点的再部署,从而实现对网络传输链路的重建,大大减缓了网络链路抖动带来的不利影响,因而具有明显的优势。

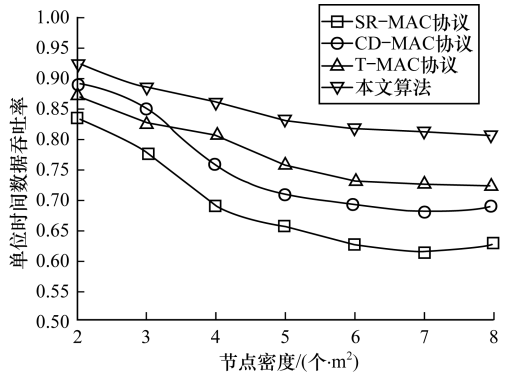


图 8　4 种算法的单位时间数据吞吐率测试结果

3)拥塞节点数量测试

图 9 显示了本文算法(阈值阶数为 3)与对照组算法的拥塞节点数量测试结果。随着数据传输率的不断上升,均呈现拥塞节点增多的趋势,不过本文算法的拥塞节点增长趋势比较和缓。由于 T-MAC 算法、CD-MAC 算法采用盲侦听机制,当网络链路处于拥塞状态时对数据排列序列处理效率较低,而 SR-MAC 算法虽然在盲侦听机制的基础上采用周期探测机制,然而当数据传输周期低于监听周期时将由于网络链路抖动严重而发生严重的拥塞。本文算法采用瞬时搜寻窗口的方式,能够自适应地对链路探测周期进行调整,灵活性要强于对照组算法,此外在数据发生拥塞时,能够定位到具体的拥塞节点并通过对同阈值阶数节点进行调用,减缓发生拥塞节点的整体数量水平,因此,能够大大减少拥塞节点的数量。

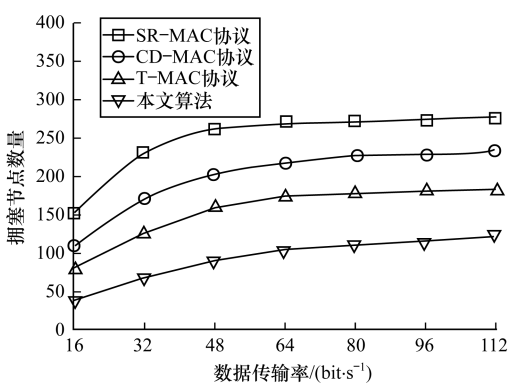


图 9　各算法的拥塞节点数量测试结果

4)数据分组投递延时测试

图 10 显示了 4 种算法(阈值阶数为 3)的数据分组投递延时测试结果。随着数据传输率的不断上升,网络拥塞程度也不断上升,因此,均出现了数据分组投递延时上升的趋势,但是本文算法的数据分组投递延时始终要好于对照组算法。这是由于 T-MAC 算法、CD-MAC 算法及 SR-MAC 算法除了在信道侦听机制上的灵活性不强、当信道处于拥塞状态时不能及时反馈给发送节点之外,未采取合理的分流机制对网络拥塞节点上的数据进行分流,导致缓存资源得不到释放,最终影响到了数据分组投递性能,导致其延时上升。而本文算法除了采用瞬时搜寻窗口的方式实现了探测周期的自适应调整之外,尚有大量的节点作为冗余节点,可以通过这些节点进行数据传输。且通过阶数测试可知,当阈值阶数为 3 时本文算法的性能最优,因此,本文算法的数据分组投递延时要大大好于对照组算法,具有明显的优势。

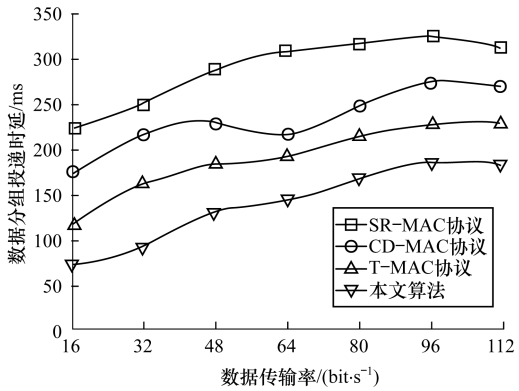


图 10　各算法的数据分组投递时延测试结果

4　结束语

随着无线传感网的进一步部署和推广,当前 MAC 层研究领域中存在的数据吞吐性能等也日益成为研究中的热点和难点,本文结合当前研究中存在的一些问题,基于数据链路优化裁决及网络预编码机制,提出一种无线传感网 MAC 数据优化算法。通过建立自适应的瞬时搜寻窗口,实现对传输信道的有效探测,降低了链路抖动对数据传输的影响,随后通过预编码的方式大大降低了数据传输过程中的拥塞现象发生概率,有效提高了数据传输质量。仿真实验结果表明,本文算法与常用的 T-MAC 算法、CD-MAC 算法及 SR-MAC 算法相比,在单位时间数据吞吐率、拥塞节点数量、数据分组投递时延等方面具有明显的优势,有着较强的实际应用价值。下一步将针对预编码机制进行研究,通过自适应的方式对数据的信源编码进行优化处理,以便降低数据传输带宽,更好地适应当前无线传感网日益增长的移动化需求。

(下转第 166 页)

参考文献

[1] CORTES C, VAPNIK V. Support-vector Networks[J]. Machine Learning, 1995, 20(3): 273-297.

[2] TUIA D, MUNOZ-MARKI J, ROJO-ALVAREZ J L, et al. Explicit Recursive and Adaptive Filtering in Reproducing Kernel Hilbert Spaces [J]. IEEE Transactions on Neural Networks & Learning Systems, 2014, 25(7): 1413-1419.

[3] LIU Weifeng, PRINCIPE J C, HAYKIN S. 核自适应滤波[M]. 田亚娟, 张 峰, 肖忠祥, 等, 译. 北京: 国防工业出版社, 2014.

[4] LIU Weifeng, POKHAREL P P, PRINCIPE J C. The Kernel Least Mean Square Algorithm [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2008, 56(2): 543-554.

[5] YU Shujian, FAN Ziqi, ZHAO Yixiao, et al. Quantized Kernel Least Mean Mixed-norm Algorithm [C]// Proceedings of the 12th International Conference on Signal Processing. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2015: 199-204.

[6] ZHAO Songlin, CHEN Badong, ZHU Pingping, et al. Fixed Budget Quantized Kernel Least-mean-square Algorithm[J]. Signal Processing, 2013, 93(9): 2759-2770.

[7] TOBAR F A, KUNG S Y, MANDIC D P. Multikernel Least Mean Square Algorithm[J]. IEEE Transactions on Neural Networks & Learning Systems, 2014, 25(2): 265-277.

[8] CLARK G A, MITRA S K, PARKER S. Block Implementation of Adaptive Digital Filters[J]. IEEE Transactions on Acoustics Speech & Signal Processing, 1981, 28(3): 744-752.

[9] HSIEH L S L, WOOD S L. Performance Analysis of Time Domain Block LMS Algorithm[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics. Washington D. C., USA: IEEE Press, 1993: 535-538.

[10] STEINWART I, SCOVEL C. Mercer's Theorem on General Domains: On the Interaction Between Measures, Kernels, and RKHSs[J]. Constructive Approximation, 2012, 35(3): 363-387.

[11] STEINWART I, HUSH D, SCOVEL C. An Explicit Description of the Reproducing Kernel Hilbert Spaces of Gaussian RBF Kernels [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(10): 4635-4643.

[12] RATSCH G, ONODA T, MULLER K R. Soft Margins for AdaBoost[J]. Machine Learning, 2001, 42(3): 287-320.

[13] 张 翔, 肖小玲, 徐光祐. 一种确定高斯核模型参数的新方法[J]. 计算机工程, 2007, 33(12): 52-53.

[14] Haykin S. 自适应滤波器原理[M]. 4 版. 郑宝玉, 译. 北京: 电子工业出版社, 2006: 270-278.

[15] MITRA R, BHATIA V. A Kernel Based Technique for MSER Equalisation for Non-linear Channels [C]// Proceedings of the 23rd European Signal Processing Conference. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2015: 1446-1450.

编辑 陆燕菲

(上接第 161 页)

参考文献

[1] 李君伟, 李士宁, 张 羽. 具有局部特性的传感网链路质量估计方法[J]. 计算机科学, 2015, 42(12): 195-206.

[2] 王 霄, 吴银锋, 于 宁. 机会传感网中一种自适应链路侦测数据收集算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2012, 38(8): 1051-1055.

[3] 翁丽娜, 杨 杰, 柯海舟. 基于时间序列分析的链路质量预测和稳定路由算法研究[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(4): 885-890.

[4] WANG Lina, ZHANG Ping, FENG Zhiyong. Short-term Link Quality Prediction Using Nonparametric Time Series Analysis [J]. Science China (Information Sciences), 2015, 58(8): 1-5.

[5] SHI Wenxiao, WU Dan, XU Yinlong. Routing Metric of Interference-aware Link Quality: An Improved ETX in Wireless Mesh Networks [J]. Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2014, 32(5): 61-67.

[6] LIU Linlan, LI Jun, SHU Jian. CCI-based Link Quality Estimation Mechanism for Wireless Sensor Networks Under Non-perceived Packet Loss[J]. Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2013, 20(1): 1-10.

[7] ZENG Li, HONG Xi. Cross-layer Adaptive Resource Allocation Algorithm with Diverse QoS Requirements for Single-cell OFDMA Systems[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2015, 22(1): 15-22.

[8] 李 猛, 丁代荣, 郭廷立. 一种无线传感器网络节点随机部署策略[J]. 计算机工程, 2012, 38(5): 99-101.

[9] FENG Guojin, GU James, ZHEN Dong. Implementation of Envelope Analysis on a Wireless Condition Monitoring System for Bearing Fault Diagnosis [J]. International Journal of Automation and Computing, 2015, 12(1): 14-24.

[10] LI Deying, ZHU Qinghua, DU Hongwei. An Improved Distributed Data Aggregation Scheduling in Wireless Sensor Networks [J]. Journal of Combinatorial Optimization, 2014, 27(2): 221-240

[11] LI Yonyan, WU Chunming. Deployment of Sensors in WSN: An Efficient Approach Based on Dynamic Programming[J]. Chinese Journal of Electronics, 2015, 24(1): 33-37.

[12] 何 剑, 白光伟. 无线传感器网络 S-MAC 协议性能研究[J]. 计算机工程, 2010, 36(24): 87-89.

[13] SON Young-ho, HONG Jin-keun, BAE Keun-sung. Authentication Masking Code Against DoS of T-MAC Protocol[J]. Journal of Central South University, 2013, 20(7): 1889-1895.

[14] 陈前斌, 刘 剑, 酆 勇. 基于网络编码与空时编码的协作 MAC 协议[J]. 通信学报, 2013, (9): 53-60.

[15] TANG Hongwei, CAO Jiannong, LIU Xuefeng. A Low Latency MAC Protocol for Multi-packet Transmissions in Wireless Sensor Networks[J]. Journal of Computer Science & Technology, 2013, 28(2): 329-341.

编辑 刘 冰 索书志