

文章编号:1673-0062(2011)02-055-04

WSN 中基于多路径路由的拥塞控制算法

谭敏生¹, 姚 亮², 常 泓¹, 谭 邦¹

(1. 南华大学 计算机科学与技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 四川大学 计算机学院, 四川 成都 610065)

摘 要:针对 WSN 多路径路由的拥塞问题, 根据快速转发数据和节能的原则, 提出了基于多路径路由的拥塞控制算法(CCAMR), CCAMR 包含新路径建立、RBR 与 RER 值获取及新路径撤销算法, 通过建立新路径将拥塞区域的流量转移到负载较轻的区域, 有利于避免和缓解重度拥塞. 仿真结果表明, 与 CODA 相比, CCAMR 的丢包率和能耗更低, 能够保证多路径路由下带宽分配的公平性, 具有更高的拥塞解除效率.

关键词: WSN; 多路径路由; 拥塞控制

中图分类号: TP393

文献标识码: A

Congestion Control Algorithm Based on Multi-path Routing for WSN

TAN Min-sheng¹, YAO Liang², CHANG Hong¹, TAN Bang¹

(1. School of Computer Science and technology, University of South China, Hengyang Hunan 421001 China;

2. School of Computer Science, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065 China)

Abstract: Aiming at the congestion problem of the multi-path routing in WSNs, according to principles of fast data forward and energy saving, a Congestion Control Algorithm Based on Multi-path Routing(CCAMR) was put forward, which including the establishing of new path, the getting of RBR and RER and the removing of new path. By establishing a new path, CCAMR transfered the traffic of congestion area to the area with lighter load, this avoid heavier load. Simulation results shows, compared with CODA, the packet loss rate and energy consumption of CCAMR is lower, the efficiency of congestion remove is higher, which can ensure the fairness of bandwidth allocation under the circumstance of the multi-path routing.

key words: WSN; Multi-path Routing; Congestion Control

收稿日期: 2011-05-04

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(10JJ9025); 湖南省科技计划项目(2009GK3036); 湖南省教育厅科学研究项目(10C1185, 09C1162). 湖南省 2009 年研究生精品课程项目(KC2009B021).

作者简介: 谭敏生(1965-), 男, 湖南衡阳人, 教授, 硕导, 主要研究方向为计算机网络与信息安全;

姚 亮(1990-), 男, 湖南常德人, 四川大学计算机科学与技术专业 2008 级本科生.

0 引言

随着传感器技术的迅速发展,传感器成本逐渐降低,应用范围越来越广.在大规模无线传感器网络中,由于节点资源受限,突发事件流、拓扑结构变化、信道变化等都会导致节点拥塞.然而,由于无线传感器网络自身的特点,传统有线网络中的拥塞控制机制不再适用,急需新的针对无线传感器网络自身特点的拥塞控制方法^[1-2].

拥塞避免主要是试图在局部和全网范围内避免出现数据流量超过网络的吞吐量.避免网络拥塞的主要方法是控制节点的发送速率,可以通过严格的速率分配机制或缓存通告机制等来实现.拥塞避免主要包括基于速率分配机制和基于缓存通告机制^[3].基于速率分配的机制通常用于路径相对稳定的网络,通过严格分配每个节点产生数据的速率和发送速率,保证任何一个节点的产生数据速率和所有子节点发送速率之和不超过分配给节点的发送速率,使得网络中任何区域内的网络流量不超过网络的吞吐量;基于缓存通告机制仅在接收节点有足够缓存容纳要发送的数据分组时,发送节点才向其发送数据,避免传播路径上中间传感器节点因缓存溢出造成拥塞.由于实际环境的复杂性和网络流量的波动等诸多原因,在大多数应用中避免网络拥塞非常困难,研究人员更多在检测到网络拥塞后如何进行拥塞告知和拥塞解除.解除拥塞主要包括基于速率控制的拥塞解除^[4-5]、基于流量调度的拥塞解除^[6-7]和基于传输调度的拥塞解除^[8-9].

拥塞消息可能最终会后压到源节点,在无线传感器网络的典型应用中^[10],sink 要求源节点保持一定的采样率.尽管限制上游节点的数据发送速率可以有效地缓解拥塞,但是这种方式减少了发送给 sink 的数据包数量,影响了数据精度和可靠性,而且当不利于高期望可靠性的紧急事件的处理,尤其数据量爆发式增长,极易导致重度拥塞.

1 基于多路径路由的拥塞控制算法

1.1 新路径建立算法

为了保证事件精度和可靠性,CCAMR 并不迫使源节点降低发送速率,而是当源节点接收到限制速率的消息后,以源节点为起点建立新路径.当源节点接收到拥塞消息后,立即启动新路径建立程序.若新路径建立失败,比如,全部邻居节点都

处于剩余带宽不足而无法再承担更多的转发任务,当找不到合适的下跳节点时,停止搜索,并反馈到上跳节点,上跳节点再从候选节点中选择次优的节点.新路径建立算法如下:

算法 1. 新路径建立算法.

```
void CreatnewPath( Node t,int max,double s)
{ double CD[ max ];double E[ max ];
NeighborNode[ max ];
if( t. attribute! = sink)
getNeiborNode( t );
sort( NeighborNode,CD,0,t. getNeighbor. length );
f( min( CD ) < 1 ) {
for( int i = 0 ; i < NeighborNode. length ; i + + )
for( int j = 0 ; j < NeighborNode. length - 1 ; j + + )
if( CD[ j ] - CD[ i ] < s && CD[ j + 1 ] - CD[ i ] > = s )
sort( NeighborNode, E, i, j );
t. setNextLeap( NeighborNode[ 0 ] );
t = NeighborNode[ 0 ]; }
else {
deleteNode( t );
CreatnewPath( t. father, max, s );
}
}
```

1.2 RBR 和 RER 值获取算法

源节点必须获取 RBR 和 RER 值以确定每条路径的流量分配,源节点获取 RBR 的算法如下(获取 RER 的算法类似):

算法 2. 获取 RBR 值算法.

```
Double * getRBRandRER( Path p[ ],int pathnum)
{ double rbr_array[ pathnum ];
for( int i = 0 ; i < pathnum ; i + + )
{ Node t = p[ i ]. getLastLeap( );
double rbr = p[ i ]. getLastLeap( ). getRBN( );
t = t. getForeNode( );
rbr = min( rbn, rbr );
if( t! = SourceNode)
t = t. getForeNode( );
else
rbr_array[ i ] = rbr ; }
return rbr_array;
}
```

若已建的新路径发生拥塞,按照以上算法,源节点再建立新路径缓解拥塞,并获取新路径的 RER 和 RBR 值.在建立了多条路径传输数据后,需要在路径间分配流量.在流量分配方案中,为避免新的

拥塞,且考虑均衡节点能量以延长网络寿命,剩余带宽大、剩余能量多的路径应尽量多地转发数据。因此,路径分配的流量应正比于 RBR 和 RER。

设有 M 条路径, $i=0$ 表示原始路径,源节点的发送速率为 $d(s)$, p_i 表示路径 i 的速率, B_i 表示路径 i 的 RBR 值, E_i 表示路径 i 的 RER 值, λ 和 δ 是常量,它们考虑了在具体应用中 RBR 和 RER 各自的重要程度。路径间速率分配的公式如下:

$$p_i = \frac{B_i^\lambda \times E_i^\delta}{\sum_{0 \leq k < M} B_k^\lambda \times E_k^\delta} \times v(s) \quad (1)$$

1.3 新路径撤销算法

在拥塞解除后,新路径和原始路径的带宽之和已超过了源速率,那么就必须撤销新路径。速率越低的路径意味着 RBR 和 RER 值越小,根据新路径快速传输数据和节能的原则,那么除了原始路径,从速率最小的路径开始撤销。新路径撤销后,源节点重新获取 RBR 和 RER 值,并按照公式 1) 重新分配速率。新路径撤销算法如下:

算法 3. 新路径撤销算法。

```
void NewPathWithdraw( Path P[ ], double * p,
int M, double * B, double ds, Node source)
{
    sort( p, 0, N );
    for( int i = 0; i < M; i ++ )
    {
        double sum = 0;
        for( int j = i; j < M; j ++ )
            sum += B[ j ];
        if( sum + B[ 0 ] > ds )
            WithdrawPath( i );
        else break;
    }
    double rbr[ M ];
    rbr = getRBRandRER( P, M );
    VelocityRedistribute();
    WeightRedistribute();
}
```

2 仿真结果及分析

本文采用 J-Sim 平台进行仿真。在 $400 \text{ m} \times 400 \text{ m}$ 的区域中随机散布 220 个节点和 1 个 sink 节点, sink 位于检测区域的右上角,所有节点均静止不动。MAC 层采用基于 CSMA 和 RTS/CTS 机制的 IEEE 802.11 协议。路由手动设置,挑选 4 个源节点 s_1, s_2, s_3 和 s_4 , 每个源节点分 3 个数据流发

送数据, s_1, s_2 的 hop 数为 4, s_3, s_4 的 hop 数为 5, s_1, s_2, s_3 的 1 个数据流交汇在中间节点 m_1 , s_2, s_3, s_4 的 1 个数据流交汇在中间节点 m_2 。每个数据流以相同速率发送数据,并赋予 4 个源节点的权重分别为 3, 每个数据流的权重为 1。

2.1 能耗仿真

依据仿真参数,设置无拥塞、轻度拥塞和重度拥塞三种场景。图 1 比较了无拥塞控制、CODA^[11] 和 CCAMR 的能耗情况,采用的评价指标为:仿真过程中网络全部节点剩余能量总和与网络初始化时网络节点能量总和的比值。在轻度拥塞和重度拥塞的情况下,无拥塞控制的能耗最高,这是因为拥塞导致了大量丢包,使得上游节点不断重传数据从而更多地消耗节点能量。在轻度拥塞的情况下,CCAMR 在能耗上要优于 CODA,这是因为 CODA 的拥塞检测算法需要对信道进行采样,消耗了大量的能量,而 CCAMR 只是周期性扫描缓存队列,消耗的能量相对较小。

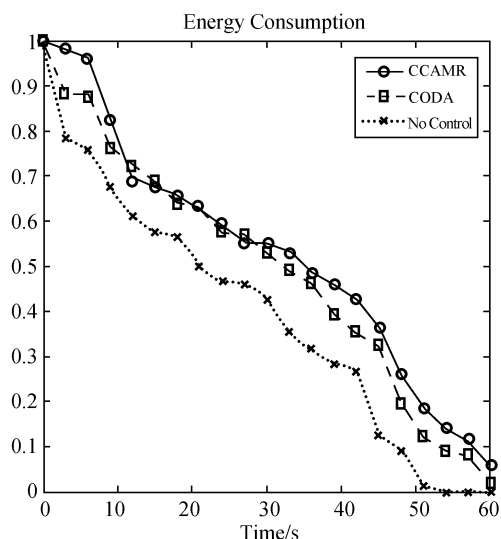


图 1 能量消耗比较

Fig. 1 Energy consumption

2.2 缓解暂时性拥塞的能力仿真

为比较 CCAMR 和 CODA 缓解突发数据流量导致的网络拥塞的能力。源节点 s_1, s_2 和 s_3 开始以 5 packets/s 的速度发送数据,在第 5 s 时,增加突发流量, s_1, s_2 和 s_3 的速率上升到 30 packets/s,加突发流量持续 600 ms,再恢复到 5 packets/s 的速率。采用的评价指标为: sink 数据接收率。见图 2, CCAMR 在第 6.2 s 时网络拥塞得到了缓解;从流量突发的 1 s 内的丢包率对比可以看出, CODA

丢包率基本一直在上升,CODA 在第 5.8 s 时虽有下降却致使网络吞吐量没有达到网络应用准确性的要求引起了源速率的抖动,进而导致了网络丢包率的不稳定.

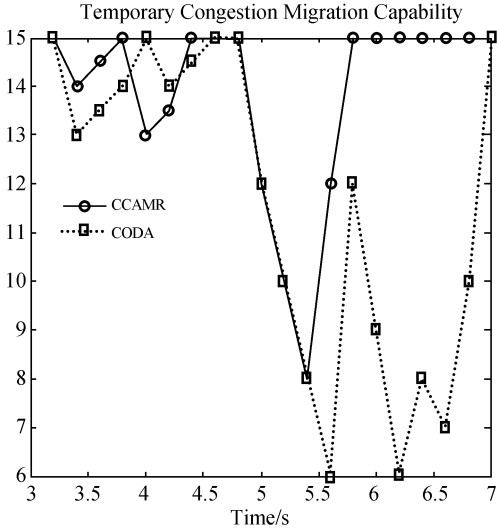


图 2 拥塞缓解能力比较
Fig. 2 Congestion mitigating ability

3 结 论

无线传感器节点是一个微型的嵌入式系统,它的处理能力、存储能力和通信能力相对较弱,资源受限,网络具有高度动态性,拥塞问题是研究热点之一. 基于多路径路由的拥塞控制算法,通过建立新路径将拥塞区域的流量转移到负载较轻的区域,有利于避免和缓解重度拥塞,而无线传感器网络的拓扑结构是动态变化的,节点失效和新节点加入经常发生,因此,CCAMR 的扩展性问题还需要进一步研究.

参考文献:

[1] Sankarasubramaniam Y, Akan O B, Akyidiz I F. ESRT: Event-to-sink reliable transport in wireless sensor networks[C]. In: Proc of the 4th ACM Int'l Symp on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2003: 177-188.

[2] Chiu D M, Jain R. Analysis of the increase and decrease algo-rithms for congestion avoidance in computer networks [J]. Computer Networks and ISDN Systems, 1989, 17 (1): 1-14.

[3] Shigang Chen, Na Yang. Congestion avoidance based on-lightweight buffer management in sensor networks [J]. IEEE Trans on Parallel and Distributed Systems, 2009, 17(9): 934-946.

[4] Wan C Y, Eisenman S B, Campbell A T. CODA: Conges-tion detection and avoidance in sensor networks [C]. In: Proc of the 1st ACM Conf on Embedded Networked Sensor Systems. New York: ACM Press, 2003: 266-279.

[5] Chonggang Wang, Kazem Sohraby, Victor Lawrence, et al. Priority-based congestion control in wireless sensor networks [C]. In: Proc of the IEEE Int'l Conf on Sensor Networks, U-biquitous, and Trustworthy Computing. Pis-cataway, NJ: IEEE Press, 2006, 22-31.

[6] Kiran Yedavalli. Using wireless advantage for congestion control in wireless sensor networks [R]. University of South-ern California, Tech Rep: CENG-2005-13, 2005.

[7] Jaewon Kang, Badri Nath, Yanyong Zhang. Adaptive re-source control scheme to alleviate congestion in sensor net-works [C]. In: Proc of the 3rd IEEE Workshop on Broad-band Advanced Sensor Networks (BASENETS). San Jose, USA: IEEE Com-munications Society, 2004.

[8] Tien Ee Cheng, Ruzena Bajcsy. Congestion control and fairness for many-to-one routing in sensor networks [C]. In: Proc of the 2nd ACM Conf on Embedded Net-worked Sensor Systems. New York: ACM Press, 2004, 148-161.

[9] Hull B, Jamiwson K, Balakrishnan H. Bandwidth manag-ment in wireless sensor net-works [C]. In: Proc of the 1st Int'l Conf on Embedded Networked Sensor Systems (Sen-sys). New York: ACM Press, 2003, 300-307.

[10] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D. Directed difu-sion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks [C]. In: Proc of the 6th Annual Inter-national Conference on Mobile Computing and Networ-king. Mobicom 2000, 2000. 8: 56 - 67.

[11] Wan C Y, Eisenman S B, Campbell A T. CODA: Cong-estion detection and avoidance in sensor networks [C]. In: Proc of the 1st ACM Conf on Embedded Networked Sensor Systems. New York: ACM Press, 2003: 266-279.