

无线多媒体传感器网络自适应拥塞控制算法

李雪松¹, 康巧燕¹, 韩仲祥¹, 徐 炜²

(1.空军工程大学信息与导航学院,陕西西安,710077;2.95269部队,广东广州,510071)

摘要 针对无线多媒体传感器网络(WMSN)中多对一通信时产生的网络拥塞问题,提出了一种自适应的WSMN网络拥塞控制算法ACCP。通过结合速率控制和资源调度,并采用分簇的网络结构,根据簇首及簇内的拥塞指标,来分别启动对应的拥塞控制机制:当簇首发生短时间拥塞时,就启动属于资源调度的网络内存管理管理机制,来暂时减缓网络内过多数据包;但当簇中的存储节点也无法容纳过量的数据包时,速率控制就启动,让流量减缓下来,并且只调整数据实时性要求较低的数据流的速率,以达到控制流量、减缓甚至消除网络拥塞的目的。仿真结果显示:ACCP在传送速率不同下,可以比InS、HCCP更有效的控制网络拥塞的情况,而在比较缓存容量不同的情况下,虽然ACCP只比HCCP能够稍微改善网络拥塞的情况,但却能够大幅度改善InS的数据包丢失率。

关键词 无线多媒体;传感器网络;拥塞控制算法

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.01.015

中图分类号 TP212;TP301 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)01-0067-05

An Adaptive Congestion Control Protocol for Wireless Multimedia Sensor Network

LI Xue-song¹, KANG Qiao-yan¹, HAN Zhong-xiang¹, XU Wei²

(1. Information and Navigation College, Air For Engineering University, Xi'an 710077, China;
2. Unit 95269, Guangzhou 510071, China)

Abstract: Network congestion produced by many to one communication is a crucial problem in WMSN. In this paper, an adaptive congestion control protocol (ACCP) is presented. Through the combination of rate control and resource scheduling, the cluster-base structure is used to start the corresponding congestion control mechanism according to the cluster head and its congestion index. When the cluster head is congested for a short time, the network memory management mechanism belonging to resource scheduling will start to suspend too much packets in the network. When the storage node is unable to accommodate excessive packets, the rate control will start to slow down the network traffic. The simulation results show that the ACCP is more effective than InS, HCCP in controlling the network congestion in the case of transfer rate changing. Though the ACCP can only improve network congestion just a little better than HCCP under the condition of cache capacity changing, the packet loss of InS is improved significantly.

Key words: wireless multimedia; sensor networks; congestion control

收稿日期:2014-01-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61201209),陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2014JM8348)

作者简介:李雪松(1971-),男,河北乐亭人,讲师,博士,主要从事网络通信、无线传感器网络研究.E-mail:lxsxian@sohu.com

引用格式:李雪松,康巧燕,韩仲祥,等.无线多媒体传感器网络自适应拥塞控制算法[J].空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(1):67-71. LI Xuesong, KANG Qiaoyan, HAN Zhongxiang, et al. An Adaptive Congestion Control Protocol for Wireless Multimedia Sensor Network [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(1): 67-71.

无线多媒体传感器网络(WMSN, Wireless Multimedia Sensor Networks)是在传统无线传感器网络(WSN, Wireless Sensor Networks)基础上引入了音视频和图像等多媒体信息感知功能的一种新的分布式感知网络,可广泛应用于战场可视化监控、环境监测、交通监控、智能家居和医疗卫生等领域^[1-2]。WMSN具有感知媒体丰富、数据量大、处理任务复杂等特点^[3-5],其所传输的语音、视频、图像等多媒体信息对传输的延迟、延迟抖动、吞吐量等服务质量(QoS, Quality of Service)性能指标敏感,但目前WMSN的带宽资源以及处理能力、电池能量等还相当有限,能否有效保障多媒体信息的QoS传输并尽量节省网络能量,是多媒体传感器网络实用化的关键。

在WMSN中,如果网络负载过大,网络的传输性能下降,节点开始丢弃分组进入网络拥塞状态。当发生拥塞时,WMSN需要有效的拥塞控制策略,及时解除网络拥塞,同时拥塞控制策略还应具备避免网络出现拥塞或延缓网络进入拥塞的功能。

网络拥塞的本质是网络流量超过了网络的最大传输能力。因此,针对网络拥塞控制的策略主要包含两方面:减少网络流量,主要采用速率控制机制来实现;增加网络资源(主要指节点数量),主要采用资源调度机制来实现。

速率控制机制是根据网络拥塞程度指标(CD, congestion degree),调节拥塞节点的上游节点的数据传送速率,进而减轻拥塞程度。文献中提出的PCCP^[6]、HCCP^[7]、ESRT^[8]等均采用此方式解决网络拥塞问题。但是速率控制虽然可通过降低源端的数据速率减缓拥塞网络拥塞问题,但却造成整个网络流量下降,在网络需要传输实时性较强的数据时(具有QoS要求的多媒体数据流),会因速率过慢引起传输超时问题,影响数据的实时性。

资源调度机制是在网络拥塞时引入更多的网络资源,以减缓网络拥塞。如TARA^[9]、Detour^[10]等在拥塞发生时立即增加资源供应,形成一条或多条额外的路径(称之为多元路径)参与路由共同分担信息流;拥塞平息后立即减少资源预算,拆除多元路径以延长网络生命期。而In-network storage^[11-12]是在拥塞发生时,唤醒休眠节点供调度使用,在短暂性的拥塞发生时,先将过多的数据暂存在休眠节点的缓存中,等到拥塞情况解除,再把暂存在节点中的数据释放传送到原定目的地。资源调度机制虽然不会影响数据的实时性,但却受制于有限的网络资源,而无法有效解决严重的网络拥塞,如果加大缓存资源,在传输具有QoS要求的多媒体数据流,将会造成网

络资源浪费。

1 自适应拥塞控制协议

自适应拥塞控制协议(ACCP, Adaptive Congestion Control Protocol)是基于分簇结构无线多媒体传感器网络下的一种拥塞控制机制。该协议拥塞控制机制分为2种控制方式:一种为簇存储管理控制,另一种为速率调整控制。我们分别讨论这2种控制方式。为便于讨论,本文中所使用的参数如下: h_i 为簇中的簇首节点; n_{si} 为簇中感测节点的总数; n_{bi} 为簇中缓存节点的总数; RB_h 为簇中簇首所剩余的缓存容量; C_i 为簇; t 为单位时间; x 为回传数据的单位时间; NS_c 为簇中网络净流量; r_{sh} 为簇首产生数据速率; CD 为簇拥塞指标; CD_h 为簇首拥塞指标; $\beta_i(x)$ 为倾向性拥塞指标; SUM_i 为 $\beta_i(x)$ 的总和; PPC_i 为潜在可能容量; N_{U_i} 为上游簇总数。

1.1 簇存储管理控制

当网络中某节点拥塞发生时,如果立即启动速率控制,虽然会立即将网络内数据传输速率降低下来,但是会使其上游节点产生back pressure现象,从而造成整体上游发生拥塞。因此,ACCP在执行速率控制前,先使用簇存储管理控制方式来缓存节点里过多的数据包,以延缓使用速率控制方式。簇内有3种性质的节点:簇首、缓存节点和感测节点。任一簇组成可表示为:

$$C_i = h_i + n_{bi} + n_{si} \quad (1)$$

簇首是整个簇的中心,也是负责把数据分送到缓存节点的控制中心,同时还负责把数据传送到上一级簇的簇首;感测节点负责感测工作,并把数据传送到簇首;缓存节点则是整个簇暂存数据的地方。在平时,簇首必须在每个时间周期 t 内计算整个簇的缓存空间,其计算公式为:

$$RB_c = (RB_h + \sum_{b_i \in C} RB_{b_i})t, \forall h, b_i \in C \quad (2)$$

簇首首先对簇中每个缓存节点编号并在单位时间内向簇中每个缓存节点发出query广播,根据簇首中的缓存节点列表中的缓存节点编号来确定簇内缓存节点是否回报容量,见图1。假设缓存节点向簇首回报缓存容量的时间为 x ,簇中有 n 个缓存节点,开始时间为 t ,则 n_1 回报时间为 $t+x$, n_2 的回报时间为 $t+2x$,以此类推,在 n_i 的时间为 $t+ix$ 。此外还要计算网络净流量,以便能够管理流量,其计算公式如下:

$$NS_{c_i} = (r_{sh} + \sum_{k \in U_i} r_{k,i} - \sum_{j \in D_i} r_{i,j})t \quad (3)$$

由 RB_c 和 NS_{c_i} ,可计算出整个簇的拥塞指标

(CD)。CD 值分为两大指标:一是整体拥塞指标(CD_c),CD_c=NS_c-RB_c,如果 CD_c≥0 则簇会发生拥塞,如果 CD_c<0 则不会发生拥塞;二是簇首拥塞指标(CD_h),CD_h=NS_c-RB_h,如果 CD_h≥0 则簇首缓存不足,会发生拥塞,如果 CD_h<0 则不会发生拥塞。簇存储管理控制方式的定位是预防发生拥塞,因为启动网络内存储管理控制方式的速度比较快,而且成本较低。本文将 CD_h 值作为启动网络内存储管理控制方式的依据,其计算方式为:当 CD_h<0 时,表示簇首剩余缓存空间是安全的;但如果 CD_h≥0 则表示簇首的缓存空间不足,需要启动网络内存储管理控制。在簇存储管理控制方式中,簇首把过多的数据包传输给缓存节点的方式是循环分配,在平时缓存节点回报容量时,就在簇首中建立一个缓存节点列表,当启动网络内存储管理控制方式时,簇首会根据缓存节点里所提供每个缓存节点的容量,由剩余容量最多的节点来进行存放,当存放容量超过 90% 则换到下一个缓存节点来进行存放数据,见图 1。

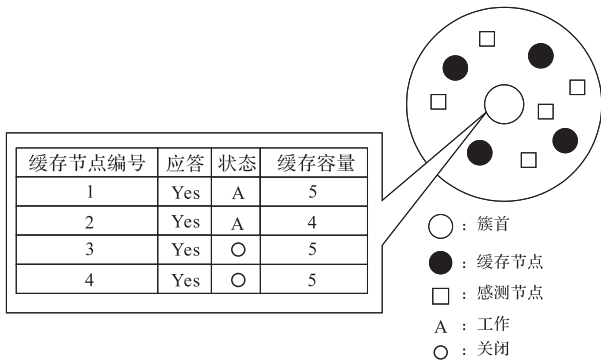


图 1 簇首列表

Fig.1 Cluster buffer node list

1.2 速率调整

若启动簇存储管理控制机制后,网络拥塞情况并没有减轻,则 ACCP 算法就启动第二阶段的速率调整控制机制。首先,计算从簇 C_i 的上游即簇 C_x 到簇 C_i 的传输容量,由于当发生拥塞时,数据包把缓存节点里的剩余缓存填满,所以簇 C_i 的簇首就必须估算当发生拥塞时,上游的簇 C_x 的缓存量是否可以应付无法传送出去的数据包量,定义为倾向拥塞指标 β_i(x),其计算公式为:

$$\beta_i(x) = CD_c + R_{x,i}t, \forall x \in U_i \quad (4)$$

如果 β_i(x)≤0,代表在单位时间 t 内不会发生拥塞;如果 β_i(x)>0,则在单位时间 t 内会发生拥塞,此时簇 C_i 会优先把速率分给 β_i(x)>0 的情况,将 β_i(x)>0 的总和相加,作为总共还需要多少的缓存容量。

β_i(x)总和 SUM_i 为:

$$SUM_i = \sum_{x \in U_i} \beta_i(x), \forall \beta_i(x) > 0 \quad (5)$$

簇 C_i 中潜在可用的容量 PPC_i 为:

$$PPC_i = RB_c + \sum_{j \in D_i} r_{i,j}t \quad (6)$$

根据 β_i(x) 的定义,在簇 C_i 里由于簇首会把速率优先分配给 β_i(x)>0 的上游簇使用,所以要更新 PPC_i 的值,即为剩余的潜在容量(PPC'_i):

$$PPC'_i = PPC_i - SUM_i \quad (7)$$

如果 PPC'_i≥0,代表可以满足上游簇的流量。如果 PPC'_i<0 则代表簇 C_i 的剩余潜在容量无法满足上游簇所需的流量。因此,调整速率的部分为 2 大类:

1) 如果 PPC'_i≥0:

$$\begin{cases} r'_{x,i} = \beta_i(x) + \frac{PPC'_i}{N_{U_i}}, & \text{if } \beta_i(x) > 0 \\ r'_{x,i} = \frac{PPC'_i}{N_{U_i}}, & \text{if } \beta_i(x) \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

2) 如果 PPC'_i<0:

$$\begin{cases} r'_{x,i} = PPC_i \times \frac{\beta_i(x)}{SUM_i}, & \text{if } \beta_i(x) > 0 \\ r'_{x,i} = 0, & \text{if } \beta_i(x) \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

本文提出的 ACCP 算法流程见图 2。

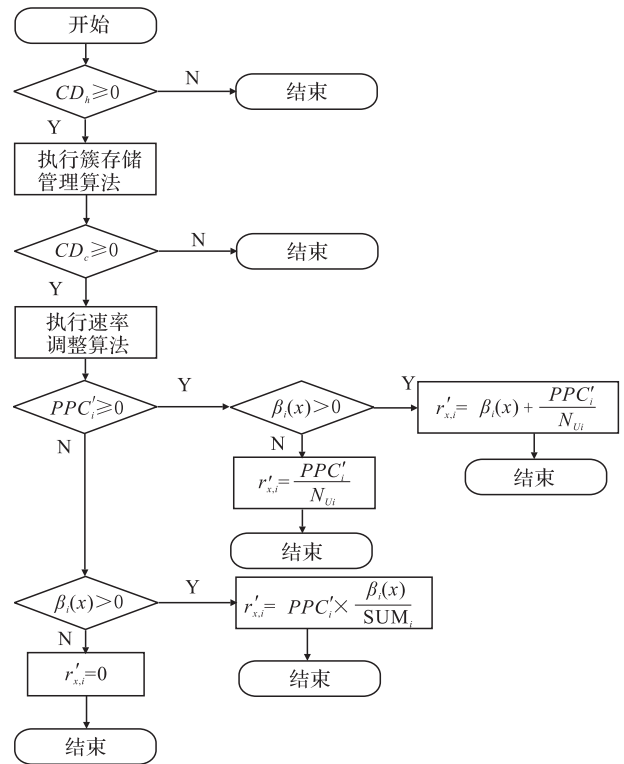


图 2 ACCP 算法流程图

Fig.2 ACCP flow chart

2 算法仿真和性能分析

将本文提出的 ACCP 算法与基于速率控制机制的 HCCP 算法^[7]和基于资源调度机制的 InS 算法^[11]进行比较。在传送速率不同的模拟仿真中,设定最高和最低的数据速率分别为 11 pps 和 3 pps,传出时间为 5 pps,Buffer 容量为 5 个数据包,模拟时间为 300 s。在缓存容量不同的情况下,设定最高和最低的缓存容量分别为 12 和 6 个数据包,传入的数据速率为 11 pps,传出的数据速率为 5 pps,模拟时间为 300 s。图 3 为模拟网络拓扑结构。

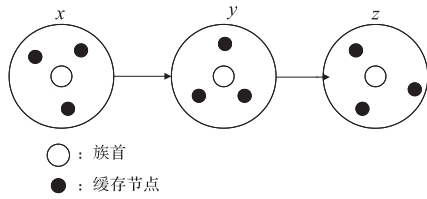


图 3 模拟环境网络拓扑结构

Fig.3 Simulated environment settings and network topology configuration

图 4 和图 5 显示的是在改变传输速率和缓存容量不同情况下网络中数据包丢失率情况。图 4 显示 ACCP 能够小幅度改善 HCCP 的数据包丢失率情况,这是由于 ACCP 在速率控制中加入簇存储的机制,所以能够延缓启动速率控制的时间,同时也延缓造成上游簇发生拥塞的时间,使数据包丢失率有显著的改善。

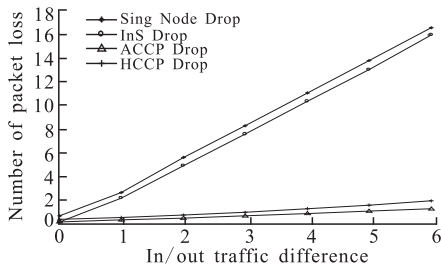


图 4 传输速率变化情况

Fig.4 Transmission varied speed condition

图 5 显示 ACCP 能够比 InS 更能够控制数据包的丢失率,虽然在图 5 中,增加缓存容量可以帮助 InS 降低数据包的丢失率,但是却并没有对其网络流量进行控制,所以 InS 算法数据包丢失率很高;而 ACCP 由于在簇存储中加入了速率控制,所以能够比 InS 更有效地控制网络拥塞情况。

图 6 显示 ACCP 的吞吐量随着数据包发送速率增加明显优于其它算法,当数据包发送速率较高(大于 6 pps)时,网络就会发生一定程度的拥塞。在此以后,HCCP 和 InS 的网络吞吐量不再增加,甚至

有下降趋势;而 ACCP 虽然减缓了增加的趋势,但总体上网络吞吐量还是在增加。从图 7 中可以看出,随着数据包发送速率的增大,数据的传输时延也逐渐增大。由于 ACCP 算法加入簇存储的机制和控制发送速率机制,使网络的传输时延增长较低且平缓。

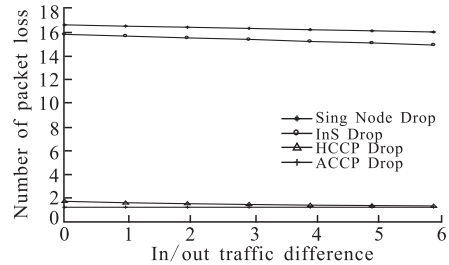


图 5 缓存容量不同情况

Fig.5 Vary buffer condition

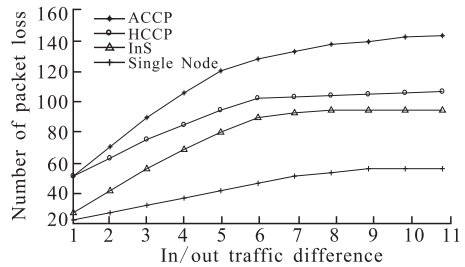


图 6 吞吐量变化情况

Fig.6 Throughputs at the sink

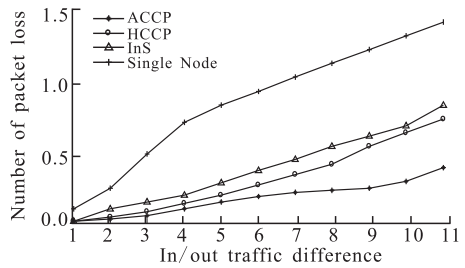


图 7 平均端到端延迟

Fig.7 Average end-to-end delays

仿真结果说明:ACCP 在传送速率不同下,可以比 InS、HCCP 更有效的控制网络拥塞的情况,而在比较缓存容量不同的情况下,虽然 ACCP 只比 HCCP 能够稍微改善网络拥塞的情况,但却能够大幅度改善 InS 的数据包丢失率。

3 结语

本文提出了一种自适应的 WSMN 网络拥塞控制算法 ACCP。通过结合速率控制和资源调度,并采用分簇的网络结构,根据簇首及簇内的拥塞指标,来分别启动对应的拥塞控制机制;当簇首发生短时间的拥塞时,就启动属于资源调度的网络内存储管

理机制,来暂时减缓短时间网络内过多数据包;但当簇中的存储节点也无法容纳过量的数据包时,速率控制就启动,让流量减缓下来,并且只调整数据实时性要求较低的数据流的速率,以达到控制流量、减缓甚至消除网络拥塞的目的。仿真结果显示:该算法可适应不同拥塞情况,可采用不同拥塞控制机制有效降低网络拥塞问题,并能够保持网络数据传输的实时性。

参考文献(References):

- [1] Ian F Akyildiz, Tommaso Melodia, Chowdhury Kanishk R. A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks [J]. *Computer Networks*, 2007, 51(4): 921-960.
- [2] AlNuaimi M, Sallabi F, Shuaib K. A Survey of Wireless Multimedia Sensor Networks Challenges and Solutions[J]. *IEEE Innovations in Information Technology*, 2011: 191-196.
- [3] 罗武胜, 翟永平, 鲁琴. 无线多媒体传感器网络研究 [J]. *电子与信息学报*, 2008, 30(6): 1511-1516.
LUO Wusheng, ZHAI Yongping, LU Qin. Study on Wireless Multimedia Sensor Networks [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2008, 30(6): 1511-1516. (in Chinese)
- [4] Ozgur B Akan, Pascal Frossard, Qian Zhang, et al. Special Issue on Wireless Multimedia Sensor Networks [J]. *Computer Networks*, 2008, 52(13): 2529-2531.
- [5] Satyajayant Misra, Martin Reisslein, Xue Guoliang. A Survey of Multimedia Streaming in Wireless Sensor Networks [J]. *IEEE Communications Surveys* & Tutorials, 2008, 10(4): 18-39.
- [6] Wang C, Li B, Sohraby K, et al. Upstream Congestion Control in Wireless Sensor Network Through Cross-Layer Optimization [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Comm*, DOI: 10.1109/JSAC.2007.070514.
- [7] Shen JiangPing, Hu WeiKai. Hybrid Congestion Control Protocol in Wireless Sensor Networks [C] // in *Proc of Vehicular Technology Conf*, 2008: 213-217.
- [8] Sankarasubramaniam Y, Akan Ozgur B, Akyildiz. Ian F ESRT: Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Network [J]. *IEEE/ACM Trans Netw*, 2005, 13(5): 1003-1016.
- [9] Kang Jaewon, Zhang Yanyong, Badri Nath. TARA: Topology-Aware Resource Adaptation to Alleviate Congestion in Sensor Networks [J]. *IEEE Trans On Parallel and Distributed Systems*, 2007, 18(1): 919-931.
- [10] You J, Lieckfeldt D, Reichenbach F, et al. Context-aware Geographic Routing for Sensor Networks with Routing Holes [C] // In *Proc Int Conf on Wireless Comm and Netws*, 2009: 1-6.
- [11] Majid I Khan, Wilfried N Gansterer, Gunter Haring. In-Network Storage Model for Data Persistence under Congestion in Wireless Sensor Network [C] // In *Proc of the First Int Conf on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, 2007: 221-228.
- [12] Khan M I, Gansterer W N, Hsring G. Congestion Avoidance and Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Network with a Mobile Sink [J]. *Journal of Netw*, 2007, 2(6): 42-49.

(编辑:姚树峰)