

WSN 中基于网络编码的最小广播重传算法

郁美芬, 吴 蒙

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 为了减少在无线传感网络中数据的重传次数, 提高无线传感网的数据传输效率, 提高服务质量, 文中提出了一种网络编码的广播算法(WMBR)。在该算法中, 依据网络接收节点的丢包情况, 创建生成丢包的哈希表, 选择并生成高效的重传数据包, 然后对数据包再进行二次编码, 通过这种方法有效地提高了重传效率。经过软件的仿真, 结果表明: 相比于普通重传方法及现有的算法而言, 这种方法能够有效地降低数据包的重传次数, 提高了无线传感网中数据通信的效率。

关键词: 无线传感网络; 网络编码; 广播传输; 重传策略

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)09-0125-03

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.09.028

Minimum Broadcasting Retransmission Algorithm Based on Network Coding in WSN

YU Mei-fen, WU Meng

(College of Telecommunication & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: In order to decrease the number of retransmission for wireless sensor network, improve the data transmission efficiency for WSN and service quality, put forward a WMBR in this paper. According to the receiving node packet loss situation, create a lost package hash table, select and generate efficient retransmission packets, again for a second coding, thereby improving the efficiency of the retransmission. The simulation results show that compared with ordinary retransmission method and the existing algorithms, this method can effectively reduce the retransmission times and improve the efficiency of data communication in WSN.

Key words: wireless sensor network; network coding; broadcast transmission; retransmission strategy

0 引言

无线链路的广播特性和不可靠性, 使得网络编码在无线传感网络数据收集方面有很好的应用, 近年来出现了很多相关的研究。Pfletschinger 等人^[1]指出网络编码能显著提高 WSN 的鲁棒性, 改善可靠性。同时, 与传统的有线网络相比, 无线网络拥有较高的数据丢失率, 重传效率问题显得更加重要^[2-3]。网络编码被无线网络重传, 利用网络编码对接收端丢包进行组合, 大大减少了重传次数, 提高了重传效率^[4-7]。肖潇等人^[8]提出的 NCWBR 方法按数据包发送顺序组合丢失包, 该算法的复杂度为 $O(N^2)$, 效率低、时延大。随着数据包数目增大, 重传次数增加。随后, 卢冀等人^[9]提出一种基于机会式的网络编码重传方法(HLAR),

采用 Hash 表快速生成重传数据包, 提高了重传的性能, 但该方法没能保证重传次数最小^[10-11]。

文中针对无线传感网络重传问题^[12-14], 在 HLAR 的基础上, 提出一种适应无线传感网络的最少广播重传次数的重传算法(Wireless sensor network Minimum Broadcast Retransmission, WMBR), 进一步降低了重传的次数, 提高了重传效率。

1 基于网络编码的广播重传机制

利用 WSN 的广播特性, 网络编码可以降低重传次数。图 1 中广播源节点 S 向接收节点 T_1 、 T_2 、 T_3 广播数据包 P_1 、 P_2 、 P_3 。

如图 1 所示, T_1 接收到 P_1 、 P_2 , 丢失数据包 P_3 , T_2

收稿日期: 2013-11-10

修回日期: 2014-02-16

网络出版时间: 2014-07-17

基金项目: 国家“973”重点基础研究发展计划项目(2011CB302900); 江苏省高校自然科学基金研究重点项目(10KJA510035)

作者简介: 郁美芬(1988-), 女, 安徽芜湖人, 硕士研究生, 研究方向为传感网络编码技术等; 吴 蒙, 教授, 研究生导师, 研究方向为无线网络理论和技术、物联网/传感器网络等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140717.1229.027.html>

丢失数据包 P_2, T_3 丢失数据包 P_1 。由于各节点丢失的数据包互异,发送重传数据包 $(P_1 \oplus P_2 \oplus P_3)$ 。节点 T_1 , 可通过 $(P_1 \oplus P_2) \oplus (P_1 \oplus P_2 \oplus P_3)$ 得到 P_3 ; 节点 T_2 , 可通过 $(P_1 \oplus P_3) \oplus (P_1 \oplus P_2 \oplus P_3)$ 得到 P_2 ; 节点 T_3 , 可通过 $(P_2 \oplus P_3) \oplus (P_1 \oplus P_2 \oplus P_3)$ 得到 P_1 。重传发送的数据包在所有接收节点都具有可解性。

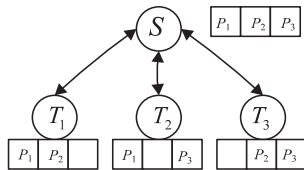


图1 广播重传示例

普通的重传方法中,广播源节点 S 需要分别重传 P_1, P_2, P_3 , 需重传3次, 而采用网络编码只需重传1次。可见, 采用网络编码的重传方法减少了重传次数。

2 高效重传算法(WMBR)

2.1 WMBR 重传算法描述

在无线传感网络中, 源节点为 S , 接收节点为 T_i ($1 \leq i \leq M$), 发送数据包为 P_j ($1 \leq j \leq N$), 每发送一个数据包, 接收节点利用 ACK/NAKs 同步反馈丢包信息。当 S 发送 N 个数据包后, 能得到 M 个接收节点的丢包信息, 得到 M 行 N 列矩阵, 记为 W 。 W 的第 i 行表示 T_i 的丢包信息, 第 j 列表示全部接收节点丢失 P_j 的信息。 W 中的元素 ω_{ij} 表示 T_i 是否接收到 P_j , $\omega_{ij} = 1$ 表示 T_i 丢失 P_j ; $\omega_{ij} = 0$ 表示 T_i 成功接收 P_j 。图2给出了 W 的一个示例, 其中 $M = 5$, $N = 10$ 。

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
T_1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
T_2	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
T_3	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
T_4	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
T_5	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0

图2 丢包数据示例

WMBR 算法编码组合分为4个步骤:

步骤1: 定义哈希函数, 计算丢包哈希值。函数为:

$$h_j = \sum_{i=1}^M 2^{(i-1)} * \omega_{ij}, j = 1, 2, \dots, N$$

步骤2: 根据哈希值创建丢包的哈希散列表。若哈希值为0的, 表示该数据包所有接收节点均成功接收, 故无需重传。 P_i, P_j ($1 \leq i, j \leq N, i \neq j$) 对应的哈希值为 h_i, h_j , 若 h_i 和 h_j 不相等, 则 P_i, P_j 位于哈希列表中不同的列; 否则 P_i, P_j 位于哈希列表中相同的列。

步骤3: 根据上面哈希表, 从哈希值最大的数据包开始进行编码组合, 生成重传数据包:

(1) 若 $h_i = 2^M - 1$ 时, 表示数据包 P_i 在所有接收

点均丢失, 此时重传 P_i 即可保证重传效率最高, P_i 即为重传数据包, 例如 P_5 。

(2) 若 $0 < h_i < 2^M - 1$ 时, 定义 h_i 的互补域为 h_j , h_j 满足 $h_i + h_j = 2^M - 1$ 。从 h_i 的互补域 (若互补域为空, 即从小于互补域的最大非空域) 开始寻找满足编码条件函数的数据包。编码条件函数为:

$$F_i(P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_n}) \leq 1, i = 1, 2, \dots, M$$

表示将数据包 $P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_n}$ 在对应接收点 T_i 的丢包信息相加, 总数不能大于1。

若 $P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_n}$ 满足编码条件函数, 即将 $P_{k_1} \oplus P_{k_2} \oplus \dots \oplus P_{k_n}$ 作为重传数据包。

步骤4: 对 Hash 值小于 $2^M - 1$, 没有与其他数据包进行编码组合的数据包 P_i , 进行二次编码。编码方式:

(1) P_i 只有一个数据为1, 则 P_i 单独组成一个数据包, 进行数据传输;

(2) P_i 有 k ($k > 1$) 个数据为1, 则将该数据包 P_i 进行分解, 分解为 $P_{i_1}, P_{i_2}, \dots, P_{i_k}$, 使 P_{i_k} 满足每行有且只有一个元素为1, 且 $P_{i_1} + P_{i_2} + \dots + P_{i_k} = P_i$;

(3) P_i 分解后, 按上述方法进行编码组合。若能将 $P_{i_1}, P_{i_2}, \dots, P_{i_k}$ 都加入其他组合中, 则可以将 P_i 加入到对应组合中。

2.2 WMBR 重传算法可解性证明

定理: 在重传时, 设应用网络编码后, 得到编码包个数为 N , 若其中 n ($n \leq N$) 个编码包各自缺少不同的数据包, 而有某个编码包恰好需重传这些数据包, 则可再次应用网络编码技术将此编码包组合到 n 个编码包中, 二次编码后的编码包在接收点具有可解性。

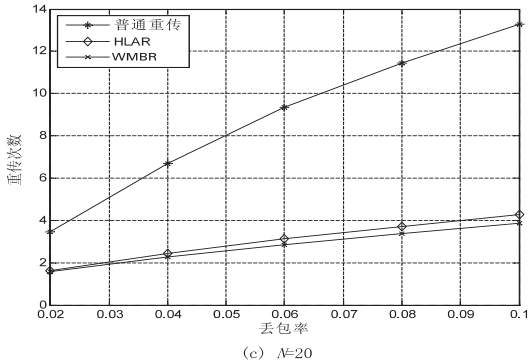
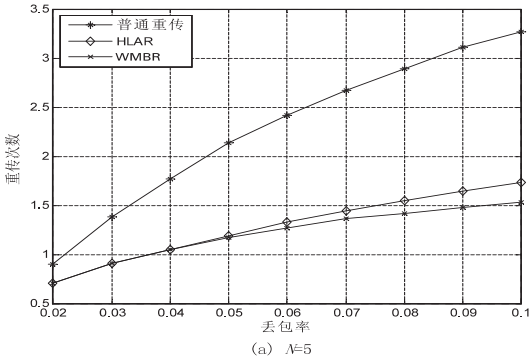
证明: 假设 n ($n \leq N$) 个编码包 A_1, A_2, \dots, A_n 缺少的数据包分别为 $\partial_1, \partial_2, \dots, \partial_n$, 而另一个编码包 A 的数据为 $\partial_1, \partial_2, \dots, \partial_n$ 。则二次编码后的编码包为 $A_1 \oplus A, A_2 \oplus A, \dots, A_n \oplus A$ 。接收点收到 $A_1 \oplus A$ 后, 通过异或 $(\partial_1 \oplus \partial_2 \oplus \dots \oplus \partial_n) \oplus (\partial_2 \oplus \dots \oplus \partial_n)$ 可以解出 ∂_1 。通过观察可以发现, 根据丢包数据 (见图2), 一次编码后可得重传数据包 $\{P_5\}, \{P_3 \oplus P_2 \oplus P_1\}, \{P_6 \oplus P_4\}, \{P_9 \oplus P_8\}, \{P_7\}$ 。运用 WMBR 重传算法后, 得到重传数据包为 $\{P_5\}, \{P_3 \oplus P_2 \oplus P_1\}, \{P_6 \oplus P_4 \oplus P_7\}, \{P_9 \oplus P_8 \oplus P_7\}$ 。由此可见, 重传次数由5次减少到4次, 相对普通编码重传算法, WMBR 算法明显减少了重传次数。

3 仿真结果与分析

本节为 WMBR 方法的性能仿真结果与分析, 将使用该方法后的平均传输次数与下述两种重传算法进行了比较:

- (1)传统的采用储存转发模式的普通重传;
- (2)采用哈希查找组合的丢包重传算法(HLAR)^[9]。

假定各接收节点的丢包率相同,丢包率 P 的变化范围是 $[0.02,0.1]$,步长为 0.01 ,数据包数目 N 为 $5,10,20,50$,接收节点数 $M=10$ 。



从图3可以看出,在不同的参数下文中的策略相比普通重传和HLAR可以显著减少平均传输次数,且在传输的数据包数目增加的情况下,该策略的改善更加显著。可见,传输的数据包数目增多,能够参与二次编码的数据包也越多,从而能有效地减少重传的次數,提高了传输的性能,节约了能量。

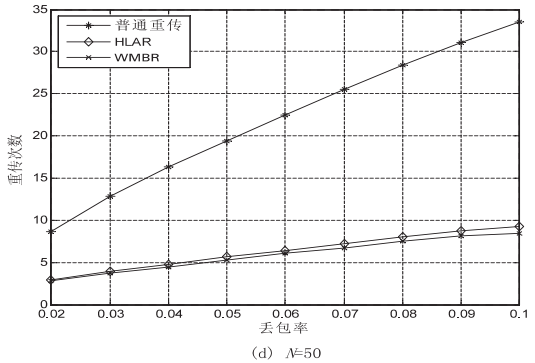
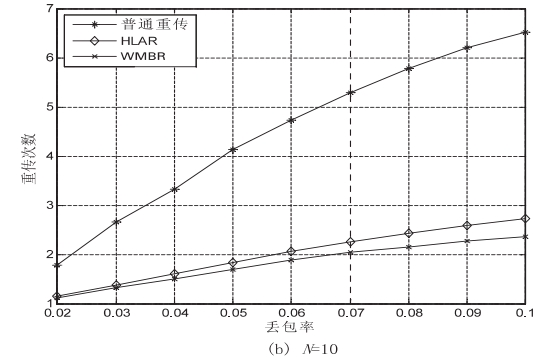


图3 不同丢包率时重传次数性能的比较

4 结束语

为了降低无线传感网络中的重传次数,在基于哈希查找快速生成重传数据包的基础上,文中提出了一种新的最少广播重传次数的重传算法(WMBR),在一次编码后,选择满足条件的丢包进行二次编码。仿真结果显示WMBR方法能有效地降低重传次数,提高重传性能,具有一定的可行性和有效性。

参考文献:

[1] Pfletschinger S, Navarro M, Ibars C. Energy-efficient data collection in WSN with network coding[C]//Proc of GLOBE-COM Workshops. Houston, TX:IEEE, 2011:394-398.

[2] 刘芳,孔健,王文博,等.通过链路层ARQ提高无线环境中的TCP吞吐量[J].北京邮电大学学报,2005,28(1):10-14.

[3] 余官定,张朝阳,仇佩亮.基于合作分集的新型自动重传协议[J].通信学报,2006,27(12):20-25.

[4] Yu Guanding, Zhang Zhaoyang, Qiu Peiliang. Novel ARQ protocol exploiting cooperative diversity[J]. Journal on Communications, 2006, 27(12):20-25.

[5] Hu Qiang, Zheng Jun. An efficient network coding based mul-

ticast retransmission scheme for mobile communication networks with relays[C]//Proc of IEEE international conference on communications. Ottawa, ON:IEEE, 2012:5413-5417.

[6] Liu Ye, Sung C W. A cross-layer design of network coded retransmissions in wireless relay channels[C]//Proc of wireless advanced. London:IEEE, 2011:201-206.

[7] 冯钧.集中式选取簇头的WSN拓扑控制算法研究[J].遥测遥控,2012,33(6):39-42.

[8] 胥布工,刘贵云.基于无线传感器网络的鲁棒分布式估计[J].华南理工大学学报(自然科学版),2012,40(10):198-202.

[9] 刘涛.无线传感器网络簇头节点分配固定聚簇算法研究[J].科技通报,2012,28(10):70-72.

[10] 张曦煌.无线传感器网络的研究[D].无锡:江南大学,2008.

[11] 熊志强.无线传感器网络数据传输容错技术研究[D].武汉:华中科技大学,2007.

[12] 李姗姗.无线传感器网络可靠数据传输关键技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2007.

[13] 蔺智挺.无线传感器网络若干关键技术研究[D].合肥:中国科学技术大学,2009.

[14] 闫斌.基于簇的无线传感器网络路由及其鲁棒性评估研究[D].成都:电子科技大学,2009.

WSN中基于网络编码的最小广播重传算法

作者:

[郁美芬](#), [吴蒙](#), [YU Mei-fen](#), [WU Meng](#)

作者单位:

[南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#) 

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

2014 (9)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201409028.aspx