

面向 WSN 的单一和多编码方案分析

戈 军¹, 周莲英²

(1. 宿迁学院计算机科学系, 江苏 宿迁 223800; 2. 江苏大学计算机科学与通信工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘 要: 研究不同速率 BCH 码情况下提高无线传感器网络吞吐量的方法, 给出单一编码方案对网络性能的影响及网络主节点(NM)对网络寿命和吞吐量的影响。仿真结果表明, 在传感器和网络主节点(NM)之间、NM 和 sink 之间采用不同速率/编码时, 网络吞吐量随 BCH 编码率的增加而增加, 多编码方案能更高效地提高网络吞吐量。

关键词: 无线传感器网络; BCH 编码; 多编码方案; 单编码方案; 网络寿命; 吞吐量

Analysis of Single and Multi-coding Scheme for Wireless Sensor Network

GE Jun¹, ZHOU Lian-ying²

(1. Department of Computer Science, Suqian College, Suqian 223800, China;

2. College of Computer Science and Communication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

【Abstract】 This paper focuses on how to use a different encoding scheme to improve network throughput. That is, different rates/codes are studied between sensor nodes and the Network Master(NM) and between the NM and the sink. Research results show that throughput increases with the increase of the BCH coding rate. Simulation results also show that the high rate BCH code provides a higher throughput than the low rate BCH code using the single coding scheme. The multi-coding scheme is more efficient and has a very good effect on network throughput over lifetime.

【Key words】 Wireless Sensor Network(WSN); BCH coding; multi-coding scheme; single coding scheme; network lifetime; throughput

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.24.023

1 概述

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)由大量具有数据感知、信息处理和无线通信能力的传感节点组成, 节点间以无线多跳的无中心方式连接, 能够协作实时监测和采集各种环境或监测对象的信息, 并对其进行处理和发送。在民用和工业生产等^[1-2]领域具有广阔的应用前景, 是当前的研究热点之一。WSN 集成了监测、控制及无线通信等多种功能, 但由于 WSN 节点的电源能量、通信能力、计算和存储能力都有很大限制, 因此 WSN 资源的节省显得尤为重要。

编码技术的出现打破了传统意义上节点只负责接收与转发信息的传输模式, 允许节点在转发信息前对输入信息进行编码组合, 再将编码信息发送出去, 接收节点根据部分编码信息从解码包中解码出原始数据。编码技术理论表明: 节点增加一定的计算开销后, 能够有效降低网络数据发送量, 提高网络吞吐量, 降低网络数据包延迟。WSN 的这些特性决定了其非常适合采用编码技术。如果 WSN 引入编码技术, 就可以降低节点能耗^[3], 延长其寿命^[4-5], 提高网络吞吐量^[6]。因此, 研究 WSN 编码技术的具体应

用具有现实意义。

通过编码技术的简单硬件实现, 在不影响网络寿命的前提下, 本文研究不同速率 BCH 码下提高 WSN 吞吐量的方法, 利用 BCH 码^[7]根据所选参数纠正多处错误^[8], 描述编码方案的网络参数和加工能量的计算, 对单一编码方案和多编码方案进行了分析。

2 相关工作

如前所述, 延长网络寿命是 WSN 的研究热点之一。文献[9]将所有传感器按照一个网络进行处理。全网选择一个传感器充当网络主节点(Network Master, NM), 接收来自其他传感器网的数据, 完成数据聚合, 消除冗余压缩, 并将有用信息发送至 sink 或基站。假设所有传感器都知道自己位置。因此, sink 将拥有全网信息, 并负责选举 NM, 并通知所有其他传感器有关 NM 的当前情况。文献[9]给出了 2 种提高网络寿命算法。第 1 种算法由轮次构成。每轮启动后, NM 保持固定周期数“ C_f ”不变。同时该算法设置了 2 个阈值。通过比较双阈值和传感器能量之间的数值大小, 从判断某个传感器是否处于活动状态(第 1 阈值)及是否可以再充当 NM(第 2 阈值)。相比 LEACH 和

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA04ZIB2); 江苏省宿迁市科技创新专项基金资助项目(S200109)

作者简介: 戈 军(1977—), 男, 讲师、硕士, 主研方向: 网络安全, 无线传感器网络; 周莲英, 教授、博士

收稿日期: 2012-03-22 **修回日期:** 2012-07-04 **E-mail:** gjun@sqc.edu.cn

LEACH-C 算法, 第 1 种算法提高了网络寿命。但是, 一旦网络发生故障, 仍有一些剩余能量。因此, 文献[9]给出了第 2 种算法。根据 sink 所知的传感器位置信息, 算法只需运行一次就可以计算出所有进出 sink 的节点能耗。假定充当 NM 的传感器具有一定周期数“ C_i ”。由于“ C_i ”周期内每个传感器只充当 NM 一次, 因此周期数内的总寿命为传感器网络内不同“ C_i ”的总和, 并按下式计算:

$$E_{\text{Sensor}_j} \leq E_i, j=1, 2, \dots, M \quad (1)$$

其中, E_i 是初始能量(等于 2 J); M 是传感器节点数。

相比第 1 种算法, 第 2 种算法降低了剩余能量(接近于 0), 提高了网络寿命, 但它无法研究某些关键点^[9-10]。

3 编码方案的网络参数

为了保证目的地(sink)的数据完整性^[8], 合理使用纠错码(Error Correction Code, ECC)已成为 WSN 研究的重要课题。但是, 传感器节点和 sink 间存在多跳, 这些多跳噪声将造成更多错误。为了降低研究的复杂度, 此处只考虑 2 跳情况: 传感器节点到 NM 为第 1 跳, NM 到 sink 为另一跳。因此, 做如下假设: 传感器对数据进行编码, 并将其发往 NM, 其中, NM 负责收集所有传感器数据并进行解码, 然后重新编码数据。并将编/解码过程作为传感器节点硬件架构的一部分, 编码或解码的加工能量假定为二元运算数量乘以每二元运算的能量^[11]。各二元运算能量 E_{oper} 定义为双输入异或门的加工能量, 同时利用静态或动态 CMOS 实现。此处假定使用了静态 CMOS 设计, 因为目前静态 CMOS 已被广泛用于传感器网络。典型的各二元运算能量取值范围为 10^{-10} J~ 10^{-14} J。文献[12]研究结果表明, 更改这些值对网络寿命影响极小。上述网络参数如表 1 所示。

表 1 网络参数

| 参数 | 值 |
|---------------------------------|--------------------------|
| 网络规模 | 100 m×100 m |
| 传感器数量(M) | 100 |
| 发送器/接收器的能量(E_{elec}) | 50 nJ/bit |
| 发送放大器的能量(E_{amp}) | 10 pJ/bit/m ² |
| 路径损耗因子(P) | 2 |
| Sink 位置 | (0, -125) |
| 发送帧的长度 | 2 048 bit |

在表 1 中, k 为信息块长度; t_s 表示所添加的校验位数, 该数值等于码字长度与信息块长度之差; N 表示发送帧的码字数; E_{oh} 为传感器微处理器固件的开销能量。

如前所述, 假设每个传感器节点发送了固定帧长 L 的数据量, 编码(E_{enc})和解码(E_{dec})的加工能量如下:

$$E_{\text{enc}} = [(k-2) \times t_s \times N] \times E_{\text{oper}} + E_{\text{oh}} \quad (2)$$

$$E_{\text{dec}} = E_{\text{Syndrome}} + E_{\text{Correction}} + E_{\text{oh}} \quad (3)$$

其中:

$$E_{\text{Syndrome}} = [(k-2) \times t_s \times N] \times E_{\text{oper}} \quad (4)$$

$$E_{\text{Correction}} = [k \times (t_s - 1) \times N + k \times N] \times E_{\text{oper}} \quad (5)$$

基于文献[9]的第 2 种算法及上述假设, NM 的总能耗

(包括接收来自节点的编/解码数据、发往 sink 的编码校正数据)及任意传感器节点的能耗如下:

$$E_{\text{NM}_j} = \sum_{i=1, i \neq j}^M E_{\text{rx}} + \sum_{i=1, i \neq j}^M E_{\text{enc}} + \sum_{i=1, i \neq j}^M E_{\text{dec}} + \sum_{i=1, i \neq j}^M E_{\text{tx}} \quad (6)$$

$$E_{\text{Sensor}_j} = C_j \times E_{\text{NM}_j} + \sum_{i=1, i \neq j}^M C_i \times (E_{\text{enc}} + E_{\text{tx-NM}_j}) \quad (7)$$

其中:

$$j=1, 2, \dots, M$$

$$E_{\text{rx}} = E_{\text{elec}} \times L \quad (8)$$

$$E_{\text{tx}} = E_{\text{elec}} \times L + E_{\text{amp}} \times L \times d_{\text{sink}_j}^p \quad (9)$$

$$E_{\text{tx-NM}_i} = E_{\text{elec}} \times L + E_{\text{amp}} \times L \times d_{\text{txj-NM}_i}^p \quad (10)$$

其中, E_{rx} 表示接收能量; E_{tx} 表示 NM 发往 sink 的能耗; d_{sink_i} 表示 NM_j 和 sink 间距离; $d_{\text{txj-NM}_i}$ 为 NM 和传感器间的距离; $E_{\text{txj-NM}_i}$ 表示主动节点的传输能耗; C_j 是分配给 NM_j 的周期数。

4 单一编码方案

使用 ECC 可以提高 WSN 数据吞吐量。因此, 下面研究单一编码方案对网络吞吐量(T)的影响。 T 定义为正确抵达 sink 的信息量。 T 的计算公式为:

$$T = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1, i \neq j}^M (1 - \text{BER}_i) \times L \times r \times C_j \quad (11)$$

其中, r 表示传感器节点的编码率; BER 是误码率。

该方案中的传感器和 NM 都使用等长的同一 BCH 码。利用 Matlab 构建仿真模型, 研究该方案对网络寿命和吞吐量的影响。当使用不同长度 BCH 码时, WSN 寿命的仿真结果如表 2 所示。结果表明, 使用不同长度 BCH 码对网络寿命影响很小。

表 2 不同 BCH 码长的网络寿命

| BCH 码长 | $E_{\text{oper}}=10^{-12}$ J | $E_{\text{oper}}=10^{-10}$ J |
|------------|------------------------------|------------------------------|
| (511, 484) | 2 943 | 2 850 |
| (511, 304) | 2 941 | 2 820 |
| (511, 148) | 2 940 | 2 590 |

图 1 显示了加性高斯白噪声(AWGN)信道下, 不同长度 BCH 码的吞吐量。

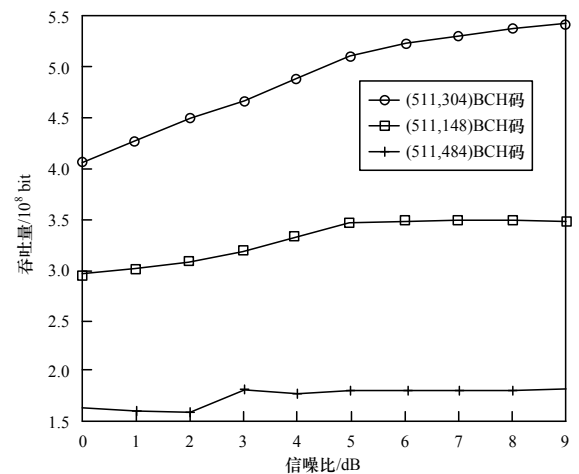


图 1 不同长度 BCH 码的吞吐量

图 1 表明,虽然低速率码可以提供更低的误码率(如图 2 所示),高速率的(511, 484)BCH 码的吞吐量仍高于低速率(511, 148)或(511, 304)BCH 码的吞吐量。

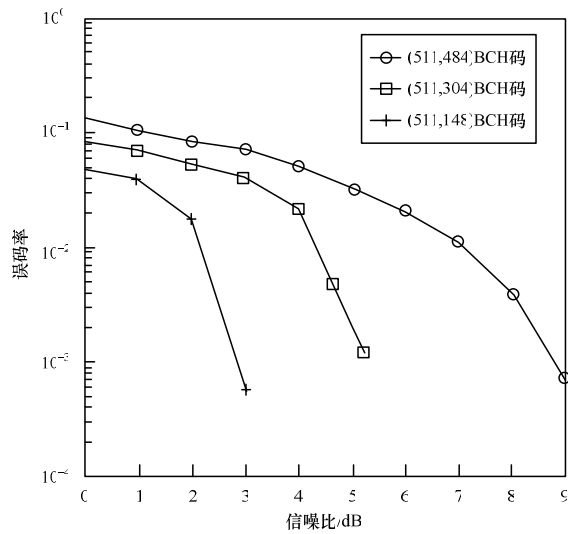


图 2 不同长度 BCH 码的误码率

NM 采用任意码率发送定长帧,则意味着任意 BCH 码长的发送能耗相同。因此,使用不同速率 BCH 码具有几乎相同的网络寿命。而编码率是影响整体吞吐量的主要因素,所以,高速 BCH 码的吞吐量高于低速 BCH 码的吞吐量。

为实现上述结果同样适合于任意帧长,帧长的比率表示吞吐量。图 3 给出了不同长度 BCH 码的吞吐量比率。

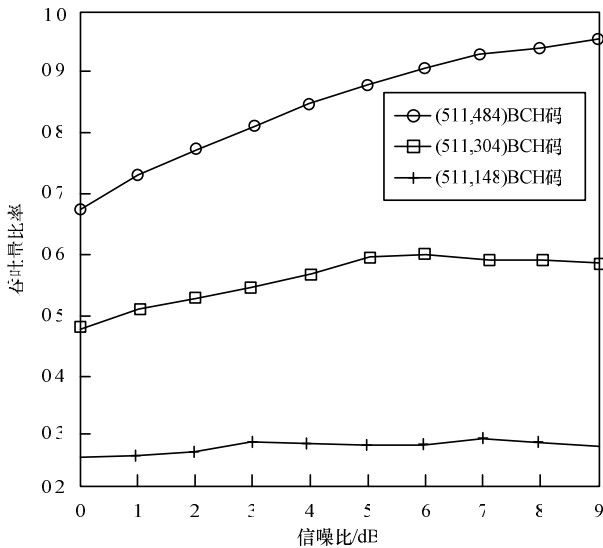


图 3 不同长度 BCH 码的吞吐量比率

从图中可以清晰地看到,高 SNR 下编码率为 0.947 的(511, 484)BCH 的吞吐量达到最大值。这意味着任意帧长的吞吐量等于 94.7%。与此相反,(511 148)BCH 码的吞吐量不超过 0.29(编码速率值)。即任意帧长的最大吞吐量只有 29%。

如上所述,不同 BCH 速率的系统寿命几乎相同。但低速码的系统寿命略低于高速码的系统寿命,如表 2 所示。

由于编码和解码过程的加工能量正比于校验数量(见式(1)、式(3)和式(4)),因此有助于纠错。低速率码的高纠错系统与高速率码的低纠错系统相比将消耗更多的能量。因此,对另一运算的能量进行仿真,即 10^{-10} J(假设范围内各运算最高能量)和寿命的相应值如表 2 所示。相比高速率 BCH 码,低速 BCH 码产生较低寿命;因此,低速码寿命期内的整体吞吐量小于高速码寿命期内的整体吞吐量。

仿真结果证实了高速 BCH 的吞吐量高于低速 BCH 的吞吐量,而不论帧长和各运算能量。

下面研究给定数据长度和可变帧长的单一编码方案。这意味着所有传感器具有相同数据量,每个传感器根据所使用的编码率发送长度可变帧。仿真结果表明,使用高速编码的发送帧的长度相比低速编码的发送帧的长度要短。这说明传输高速编码的能耗低于低速编码的能耗。因此,高速(511, 484)BCH 码的系统寿命高于低速(511, 148)BCH 码,(511, 484)BCH 码的吞吐量仍高于低速(511, 304)或(511, 148)BCH 码的吞吐量。

上述所有仿真都假设为 AWGN 信道。真实无线通信中还必须考虑衰落的影响。因此,添加瑞利慢衰落到 AWGN 信道中,这才是更真实的传感器网络。仿真结果表明,高速 BCH 码的总吞吐量仍高于低速 BCH 码的总吞吐量。

在上述结果中,NM 执行不同传感器节点的接收包的解码/编码运算。考虑 NM 充当中继情况,NM 收集传感器数据,并将其转发给没有解码或编码 sink。各种 SNR 的寿命值和 SNR=4 的吞吐量如表 3 所示。

| BCH 码长 | 中继器 | | 解码器/编码器 | |
|------------|-------|---------------------|---------|---------------------|
| | 寿命/周期 | 吞吐量/bit | 寿命/周期 | 吞吐量/bit |
| (511, 484) | 2 948 | 5.075×10^8 | 2 943 | 4.935×10^8 |
| (511, 148) | 2 947 | 1.692×10^8 | 2 940 | 1.728×10^8 |

结果表明,一方面,由于采用建议硬件实现 NM 的处理可忽略不计,寿命略有增加。另一方面,使用高速编码时,NM 作为中继更高效。因此,为了提高整体性能,根据编码速率或编码技术的纠错能力,必须确定 NM 的角色。

5 WSN 的多编码方案

使用单一编码方案的关键是 BCH 码的速率,这也是影响吞吐量的唯一因素,不论采用何种 BER 都一样。此外,利用建议硬件实现传输能量,其加工能量可忽略不计,不同 BCH 码长的 WSN 寿命近似常数。因此,本节研究了提高总体性能的另一编码方案(多编码方案)。其中,传感器到 NM、NM 到 sink 的编码方法完全不同(长度或类型或两者)。在部署区域方面,NM 到 sink 的平均距离大于传感器到 NM 的距离,这就意味着 NM 到 sink 的信道比传感器到 NM 信道的噪音更大。因此,NM 到 sink 的链路

使用高纠错低速 BCH 码,传感器到 NM 的链路使用高速率 BCH 码更合理。

为了研究多编码方案对 WSN 性能的影响,使用 Matlab 进行仿真,并利用(511, 484)BCH 码检验传感器节点和 NM 间的高速 BCH 码,(511, 148)BCH 码检验 NM 和 sink 间的低速 BCH 码。仿真结果表明,该方案严重影响网络寿命,仿真结果如表 4 所示。相比未编码系统,由于 NM 到 sink 链路应用了低速 BCH 码,增加了 NM 发送的数据量,因此 WSN 寿命减少了 46%。如果 NM 使用低速(511, 148)BCH 码,将增加传输能耗,从而降低 WSN 寿命,最终导致总吞吐量下降。

表 4 多编码方案的网络寿命和 NM 发送的数据量

| 编码方案 | NM 的数据量/bit | 寿命/周期 |
|---------------------------------|-------------|-------|
| (511, 484) BCH - (511, 148) BCH | 661 745 | 1 580 |
| (511, 148) BCH - (511, 484) BCH | 61 831 | 5 840 |
| (7, 4) Hamming - (511, 484) BCH | 122 129 | 4 600 |
| 未编码系统 | 202 752 | 2 950 |

上述结果基于传感器和 NM 间的传感器链路采用低速 BCH 码,NM 到 sink 的 NM 链路采用高速 BCH 码。仿真结果表明该方法非常很好地延长了 WSN 寿命。

仿真结果也表明,无论采用何种码率,多编码方案的寿命比单一编码的寿命增加了约 98%,比未编码系统的寿命增加了约 97%以上。这是因为采用高速 BCH 码减少了 NM 的传输能耗。而且多编码方案相比单一编码方案和未编码系统而言,添加很少校验信息,使 NM 发送的总数据量尽可能少。同时,NM 采用先低速后高速 BCH 码所发送数据量等于 NM 先高速后低速 BCH 码所发送数据量的 9%。此外,网络寿命的大幅度提高影响到网络吞吐量,使得寿命期内的总吞吐量优于使用低速编码的总吞吐量,如图 4 所示。

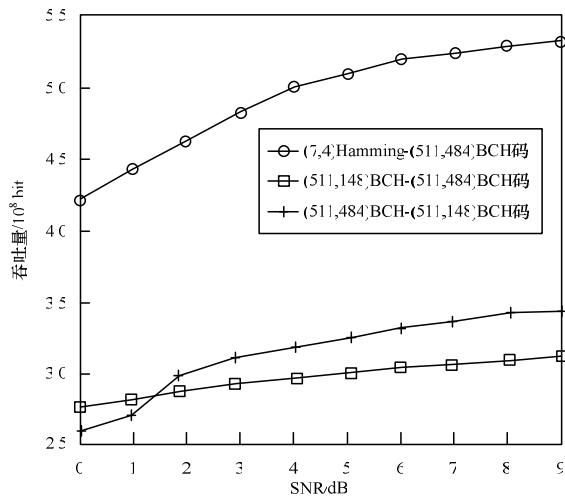


图 4 多编码方案的吞吐量

表 4 还显示了传感器和 NM 间使用(7, 4)Hamming 码代替(511, 148)BCH 码的仿真结果,其网络寿命较未编码系统网络寿命提高约 56%以上,吞吐量也高于(511,

148)BCH 码吞吐量。因此,先低速后高速多编码方案是传感器网络的首选。

6 结束语

WSN 已成为网络研究领域的热点之一,主要挑战是如何延长网络寿命。但在某些具体应用中,吞吐量可能更加重要。因此,本文利用高效编码技术来降低误码率,在不影响网络寿命的同时提高网络吞吐量。通过研究 BCH 码发现,编/解码过程对网络寿命影响甚微。通过检测不同编码率发现,在单一编码方案中,高速 BCH 码相比低速 BCH 码可以更有效地提高网络吞吐量。

参考文献

[1] 韩万强,刘 云. WSN 中基于分簇的改进路由协议[J]. 计算机工程, 2012, 38(5): 105-107, 113.

[2] Elseoud D, Nough S, Abbas R A, et al. Monitoring Electromagnetic Pollution Using Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of the 15th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Bilbao, Spain: IEEE Press, 2010: 1-4.

[3] 卢文伟,朱艺华,陈贵海. 无线传感器网络中基于线性网络编码的节能路由算法[J]. 电子学报, 2010, 38(10): 2309-2314.

[4] 高德民,钱焕延,严筱永,等. 无线传感器网络最大生命周期数据融合算法[J]. 南京理工大学学报, 2012, 36(1): 55-60.

[5] 司菁菁,庄伯金,蔡安妮. 基于网络编码的无线传感器网络生存时间最大化[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2011, 41(3): 822-827.

[6] 金 枫,郑辑光,曹建福,等. 一种高吞吐量的无线传感器网络多信道 MAC 协议[J]. 西安交通大学学报, 2010, 44(2): 32-37.

[7] 魏立线,姚武军,钟卫东,等. 基于 LQI 的 WSN 自适应差错控制方案[J]. 计算机工程, 2011, 37(21): 64-67.

[8] Balakrishnan G, Yang M, Jiang Y, et al. Performance Analysis of Error Control Codes for Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of the 4th International Conference on Information Technology. Las Vegas, USA: ACM Press, 2007: 876-879.

[9] Botros S, ElSayed H H, Amer H, et al. Lifetime Optimization in Hierarchical Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of the 14th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Mallorca, Spain: IEEE Press, 2009: 352-359.

[10] Nough S, Abbas R A, Seoud D, et al. Effect of Node Distributions on Lifetime of Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Bari, Italy: IEEE Press, 2010: 434-439.

[11] Karlsson P, Oberg L. An Address Coding Scheme for Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of the 5th Scandinavian Workshop on Wireless Ad-hoc Networks. Stockholm, Sweden: [s. n.], 2005: 1-4.

[12] Ali N A, Elsayed H M, Amer H H, et al. Effect of Hamming Coding on WSN Lifetime and Throughput[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics. Beijing, China: [s. n.], 2011: 749-754.