

基于 LT 喷泉码的无线传感器网络 信息分发协议性能评价

刘 惠, 李晓军, 杜军朝, 张荧俊, 张云扬

(西安电子科技大学 软件工程研究所, ISN 国家重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘 要: 无线传感器网络中, 设计可靠的网络协议是困难的. 在协议设计中采用纠删码, 发送端将数据进行编码并发送, 接收端只要接收到足够多的编码包, 就能够恢复原始数据包. 在 TinyOS 系统中设计并实现了基于 LT 喷泉码的信息分发协议, 在 TOSSIM 模拟环境中对其进行了性能评价. 模拟结果表明, 基于 LT 喷泉码的信息分发协议能够在降低网络负载的同时提高网络的可靠数据传输.

关键词: 无线传感器网络; 信息分发协议; LT 码; TOSSIM

中图分类号: TP393.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)08-0100-03

The Performance Evaluation of Information Dissemination Protocol in WSNs Based on LT Fountain Codes

LIU Hui, LI Xiao-jun, DU Jun-zhao, ZHANG Ying-jun, ZHANG Yun-yang

(Software Engineering Institute, State Key Lab of ISN, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: In wireless sensor networks (WSNs), it's difficult to design a reliable network protocol. Adopting the erasure codes in the protocol, the sender will send some encoded data. If the receiver receives enough encoded packet, then it can restore the original data packets. In this paper, an information dissemination protocol based on LT fountain codes is proposed and implemented in TinyOS platform. We make a performance evaluation in the TOSSIM. The simulation results show that the proposed information dissemination protocol based on LT fountain codes can improve the packet delivery ratio while reducing the number of packets to transmit.

Key words: wireless sensor networks; information dissemination protocol; LT fountain codes; TOSSIM

1 引言

无线传感器网络的通讯能力有限, 丢包率较为严重, 拓扑结构容易发生变化, 所以为了达到网络数据的可靠传输而设计网络协议是很困难的. 一种简单的方式就是将数据包多次发送, 这种方法不能保证数据可靠传输, 并且会大大增加发包的数量. Deborah Estin 等人证明节点除去固有的晶振能耗外超过 95% 的能耗集中在数据通信中^[1], 所以增加发包数量也就增加了能耗. 另一种方法是采用请求重传

的方式, 该方法会因为接收端和发送端的频繁通信使得网络负载和时延都大大增加. 还有一种方法是使用一种称之为纠删码的编码方式, 通过发送冗余的数据信息, 从而提高数据传输的容错能力. 一般可以使用 RS 纠删码^[2], 但 RS 码的编码与译码涉及到矩阵运算, 且复杂度分别为 $O(n^2)$ 和 $O(n^3)$. RS 码在遇到突发事件的时候不能实时的改变码率. 喷泉码 (Fountain Codes)^[3] 是一种无比率码 (rateless code), 即从源数据端产生的编码序列可以是无限的. 对 k 个原始数据包进行编码, 若接收端接收到

收稿日期: 2009-06-08; 修回日期: 2009-07-08

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(60803152); 教育部科学研究重点项目(2009-144); 国家“八六三”高技术研究发展计划(2009AA01Z237); ISN 国家重点实验室开发基金(ISN-9-09); 中央高校基本科研业务费

$(1+\epsilon)k$ 个编码包,其中 ϵ (称为译码无效率)是一个正数,那么接收端就能以比较高的概率解码成功. LT 喷泉码的性质使得它能够适应信道多变情况下的数据传输,几乎不受信道删除率的影响.

2 LT 码原理分析

如图 1 所示,LT 码^[4]定义了一个原始数据(左节点)和编码数据(右节点)构成的二分图.

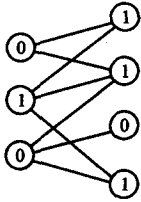


图 1 LT 的编码二分图

每一个编码数据根据一定的度分布准则 $\rho(i)$ 随机选择 i 个原始数据异或而成. 对 k 个原始数据包进行 LT 编码,编码过程如下:

- (1) 随机从度分布表中选择一个度 $d(d \leq k)$, 其度分布表由 LT 的校验节点度分布决定.
- (2) 等概率的从 k 个原始数据包中随机选择不同的 d 个.
- (3) 这 d 个数据包互相关或产生一个编码包.
- (4) 重复步骤(1)、(2)、(3) n 次得到 n 个编码包.

当一个度为 1 的校验节点覆盖与其关联的变量节点且删除该条关联边的过程称为该节点的释放(release),而删除变量节点所有关联边的过程,即分别对关联的校验节点进行异或的过程称为处理(process).定义波纹(ripple)的概念如下:

定义 1 所有因校验节点释放而被覆盖的,但却未被处理的变量节点的集合称为波纹.

LT 码的译码过程如下:

- (1) 释放所有度为 1 的校验节点,并将恢复的变量节点加入波纹.
- (2) 如果波纹为空,则译码结束.若是还有变量节点未恢复,则译码失败,反之则成功.
- (3) 如果波纹非空,则从中选择一个节点进行处理.将产生的所有度为 1 的校验节点释放,如果恢复的变量节点不在波纹中,则将其加入波纹.
- (4) 重复步骤(2)和(3).

译码的速度由二分图的边数决定,如果能够译码成功,那么任何一个变量节点至少应该有一条边.如果二分图的变量节点个数为 k ,存在变量节点的

度数为 0 的概率不大于 δ ,那么设总边数为 E ,根据概率模型, k, E 和 δ 需要满足下式:

$$k(1 - 1/k)^E \leq \delta \quad (1)$$

因为当 k 趋于无穷大时, $(1 - 1/k)^E \approx e^{-E/k}$,由上式可得

$$E > k \ln \frac{k}{\delta} \quad (2)$$

在 LT 译码二分图中,变量节点数与校验节点数相差不大,如果设计的度分布产生的边数能够在有效译码的基础上逼近式(2),或者校验节点度的期望值的数量级是 $O(\ln(k/\delta))$,那么这种度分布就是可行的.设波纹大小为 R ,为了保持波纹大小的稳定,应该有 $k \cdot r(L) = L/(L - R)$,Luby 给出了两种分布:理想孤立子分布(the Ideal Solition Distribution, ISD)和健壮的孤立子分布(the Robust Solition Distribution, RSD)^[4].

3 基于 LT 码的信息分发协议的设计和分析

实验基于的网络操作平台是 tinyOS-2.x^[5],仿真环境是 TOSSIM^[6].其报文结构 message_t 一般包括 header、footer、metadata 和 data 四个部分.其中前三个与硬件相关,一般主要设置的是 data 部分.该部分最大长度为 29 个字节.通过上节 LT 码的原理分析,LT 码一般不会限制数据包的数量,同时需要知道包号、每个包的度、原始数据包数量. LT 编码时传输数据包结构如图 2 所示.

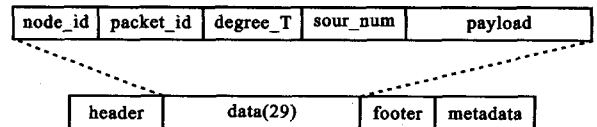


图 2 基于 LT 码的 message_t 图

在使用 LT 编码时,由于节点并不需要知道它们之间的链路关系.发送节点可以无限发送编码数据,当接收端能够成功译码的时候,发送端应该停止编码和发送数据包,从而减少能耗.基于 LT 码的信息分发协议如下:

Notations:

rec_pkt: receive queue ϵ : decoding inefficiency factor

Information Dissemination Protocol Based LT Erasure Codes

(1) Upon entering Encode Phase

```
if (TOS_NODE_ID == Sender) then
    call Encode() and Send()
end if
```

```

(2) Upon entering Forward Phase
    if(TOS_NODE_ID != Sender
    && TOS_NODE_ID == Receiver) then
        call Forward()
    end if
(3) Upon entering Decode Phase
    if(TOS_NODE_ID == Receiver) then
        if( len(receive_packet) >= (1+ε)*k) then
            call Decode() and flush rec_pkt
        else
            Store the message in rec_pkt
        end if
    end if
    /* The following is for Encode */
(4) Encode()
    See encoding process of LT codes in section 2
(5) Decode()
    See decoding process of LT codes in section 2

```

以上是基于 LT 码的信息分发协议的具体框架. 可以根据这个框架来设计具体的基于 LT 码的无线路由通信协议. 其中 Forward() 的设计是关键, 最容易实现的方法就是用泛洪, 但是对路由协议的效果不是很明显.

4 仿真分析

对于 LT 喷泉码, 数据包数对译码性能具有一定的影响, 如图 3 所示. 因为只有数据包的数量大到一定程度时满足统计规律, 所以当数据报数 k 为 10 000 时的性能要比 k 为 100 时的性能好.

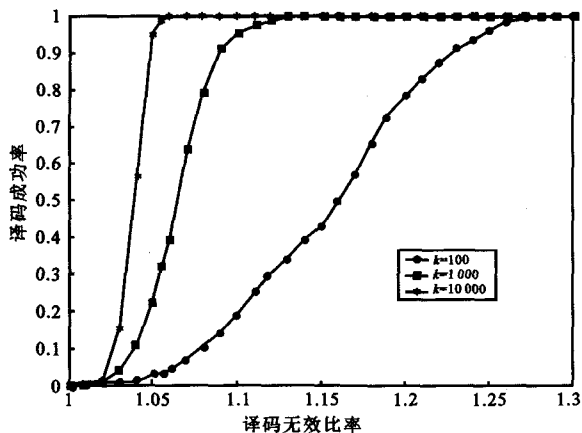


图 3 数据包数对 LT 译码性能的影响

图 4 是单跳网络中, 发送包数为 100 时, LT 编码与 RS 编码的时间比较曲线. 其中, 数据采用分块发送的方法, RS 码采用了 Cauchy 矩阵构造的方法. 从图中可以看出 RS 的编解码时间略优于 LT 码的

编解码时间. 但 RS 码是有比率码, 不能适用码率突变的情况, 而 LT 码则不受此限制.

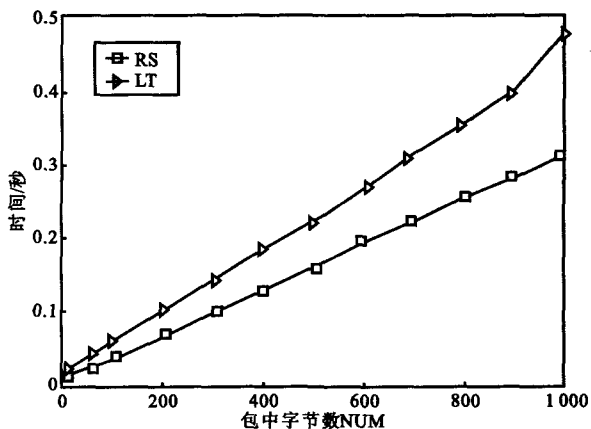


图 4 LT 码的编解码时间比较曲线

图 5 是在信息包数为 100, 包丢失率为 30% 时, LT 码和 RS 码的包接收率的对比曲线. 从图中可以看出, 当 RS 码接收的包数小于实际的信息包数时, 由于此时编码矩阵不存在可逆矩阵, 解码出的包数为 0, 包接收率为 0. 只有当收到的编码包数大于信息包数 (此处为 100) 时, 且编码矩阵线性无关时, RS 码才能解码成功. 所以, RS 码不适应网络发生突发事件的情况. 而 LT 码会随着发送包数的增加包接收率逐渐增加, 且不受网络突发事件的影响, 只要接收端接收了足够的编码包就可解码成功.

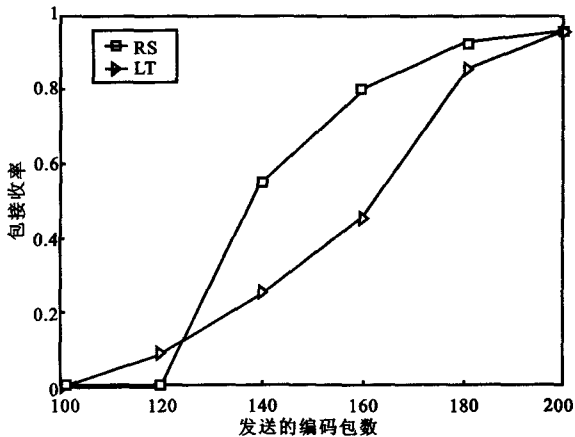


图 5 LT 码和 RS 码的包接收率对比曲线

5 结束语

本文介绍了 LT 码的编解码原理, 给出了 LT 编解码的算法, 设计并实现了基于 LT 码的信息分发协议. 在单跳网络中与 RS 码的编解码时间和包接收率进行了对比. 通过仿真模拟证明了 LT 码的无比率特性所展示出的优势. (下转第 107 页)

5 结束语

本文提出一种新型的神经网络训练算法,即 IEKPF 算法. 在粒子滤波算法框架内,使用 IEKF 算法传播近似高斯建议分布,在迭代过程中有效利用观测值提供的信息,从而可以更好地描述神经网络权值的分布函数,本算法不仅可用于多层前馈网络,也可用于递归神经网络、径向基神经网络等的训练.

参考文献:

- [1] Singhal S, Wu L. Training multilayer perceptrons with the extended kalman algorithm[J]. *Advance in Neural Information Processing Systems*, 1998(1):133-140.
- [2] Freitas J F G, Johnson S E, Niranjana M, et al. Global optimization of neural network models via sequential sampling - importance resampling[C]// *Proc. of the 5th International Conference on Spoken Language Processing*. Sydney, Australia, 1998.
- [3] 于金霞,汤永利,刘文静. 粒子滤波自适应机制研究综述

[J]. *计算机应用研究*, 2010, 27(2):417-422.

- [4] Arulampalam M S, Maskell S, Gordon N, et al. A tutorial on particle filters for on - line nonlinear/non - gaussian bayesian tracking[J]. *IEEE Transactions on signal processing*, 2002, 50(2):174-188.
- [5] Doucet A, Godsill S, Andrieu C. On sequential monte carlo sampling methods for bayesian filtering[J]. *Statistics and Computing*, 2000(10):197-208.
- [6] Cappe O, Godsill S J, Moulines E. An overview of existing methods and recent advances in sequential monte carlo[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2007, 95(5):899-924.
- [7] 王法胜,郭权. 基于扩展卡尔曼粒子滤波算法的神经网络训练[J]. *计算机工程与科学*, 2010, 32(5):47-49.
- [8] 李良群,姬红兵,罗军辉. 迭代扩展卡尔曼粒子滤波器[J]. *西安电子科技大学学报:自然科学版*, 2007, 34(2):233-238.

作者简介:

张应博 男,(1973-),双硕士,副教授.研究方向为人工智能、软件工程.

(上接第 102 页)

参考文献:

- [1] Estrin D, Srivastava M. Wireless sensor networks(Tutorial)[M]. USA: ACM MOBICOM, 2002.
- [2] Reed I S, Solomon G. Polynomial codes over certain finite fields[J]. *SIAM Journal of Applied Math.*, 1960(8):300-304.
- [3] MacKay D J C. Fountain codes[J]. *Capacity Approaching Codesdesign and Implementation Special Section*, 2005, 152(6):1062-1068.
- [4] Luby M, LT - codes[C]// *Proceedings of the ACM Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS)*. Canada: Uancouver, 2002.

- [5] Levis P, Madden S, Gay D, et al. The emergence of networking abstractions and techniques in TinyOS[C]// *Proceedings of the First USENIX/ACM Networked System Design and Implementation*. San Francisco, 2004:1-14.
- [6] Levis P, Lee N, Welsh M, et al. TOSSIM: accurate and scalable simulation of entire tinyos applications[C]// *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor system*. Los Angeles, 2003:126-137.

作者简介:

杜军朝 男,(1974-),博士,副教授.研究方向为操作系统、无线传感器网络.