

The Application of LT Codes in Wireless Sensor Network of Smart Grid

Tengfei Li^{1,2,3}, Nianrong Zhou^{1,2}, Feng Gao^{1,2}, Ting Ma^{1,2,3}, Hong Wen³

¹Yunnan Power Grid Corporation, Kunming

²Yunnan Yundian Tongfang Technology Co., Ltd., Kunming

³National Key Laboratory of Science and Technology on Communications, UESTC, Chengdu
Email: litengfei.71f@163.com

Received: Nov. 21st, 2013; revised: Nov. 30th, 2013; accepted: Dec. 5th, 2013

Copyright © 2013 Tengfei Li et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Tengfei Li et al. All Copyright © 2013 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: With the rapid development of smart grid, advanced wireless sensor network technology is widely used in smart grid systems. The network performance of wireless sensor networks, which are deployed in the environment, is vulnerable to the impact of the surrounding environment, and the reliability of data collection in the network may be compromised. LT codes have the quality of compiled code, which makes the receiver able to translate the original data from the source through the correctly received code information, and this makes LT codes the suitable choice for the WSN demand of collecting data reliably in smart grid.

Keywords: Smart Grid; Wireless Sensor Network; Reliability; LT Codes

LT 码在智能电网无线传感网络中的应用

李腾飞^{1,2,3}, 周年荣^{1,2}, 高峰^{1,2}, 马婷^{1,2,3}, 文红³

¹云南电网公司技术分公司, 昆明

²云南云电同方科技有限公司, 昆明

³电子科技大学通信抗干扰国家级重点实验室, 成都
Email: litengfei.71f@163.com

收稿日期: 2013年11月21日; 修回日期: 2013年11月30日; 录用日期: 2013年12月5日

摘要: 随着智能电网的快速发展, 先进的无线传感网络技术被广泛地应用在智能电网系统中, 部署在环境中的无线传感器网络, 其网络性能容易遭受周围环境的影响, 网络中数据收集的可靠性可能会遭到破坏。LT 码的编译码特点, 使得只要接收端能正确接收到足够的编码信息就可以译出原始数据信源, 很适合智能电网中无线传感网络对于数据可靠性收集的要求。

关键词: 智能电网; 无线传感网络; 可靠性; LT 码

1. 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)将传统的传感器信息获取技术从独立的单一化模式向集成化、微型化、网络化、智能化的方向发展^[1],

在电力系统自动化领域, 已有研究把无线传感器网络应用于远程抄表、负荷预测、变电站自动化、配电网继电保护、配电线路故障定位、输电线路实时监测与预警等方面^[2]。这些应用有效地监测了电力系统运行状

态,提高了电力系统的运行效率,使得无线传感器网络成为电能生产、传输、分配、消费环节的有益补充。

智能电网的兴起将最先进的传感器技术、网络技术、通信技术、新能源技术和 IT 技术等融合到电力系统中,使其具备现有电网尚不具备的自愈、互动、兼容、集成、优化和安全等特点^[3]。文献[4]详细介绍了在智能电网中,无线传感器网络可以被广泛应用于高级量测体系(AMI)、高级配电运行(ADO)、高级输电运行(ATO)和高级资产管理(AAM)中,例如智能家居、变电站自动化、输电线路监测等等。通过无线传感网络监测可以获取电网运行状态、参数等物理信息,为电网运行和管理人员提供更为全面、完整的电网运营数据,有利于决策系统控制实施方案和应对预案,是智能电网的有效组成部分。

无线传感器网络是一种受环境影响很大的分布式网络,想要通过汇聚节点可靠的收集整个网络的数据是个颇有难度的问题。在实际的网络环境中需要考虑节点资源受限、节点突发死亡、链路故障以及地震、火灾等问题,采取措施来提高数据的可靠性传输^[5]。一种简单的方式是将数据包多次发送,但它不能根本保证数据的可靠传输,并且会大大增加发包的数量。Deb-orah Estin 等人证明了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^[6],因此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,此方法会大大增加网络的负载和时延。还有一种方法是采用编码方式,通过发送冗余的数据信息,从而提高数据传输的容错能力。在文献[7]中,作者使用 RS 纠删码,但其编译码算法涉及矩阵运算,复杂度较高,并且在遇到突发事件的时候不能实时的改变码率。喷泉码是一类基于图的线性纠删码,在无线通信系统中,发送端对原始信息进行编码,得到源源不断的编码信息并且发送,只要接收端能正确接收到足够的编码信息就可以译出原始数据信源,很适合智能电网中无线传感网络对于数据可靠性传输的要求。数量众多的传感器节点即分布式的数据源,除了汇聚节点外的整个网络可以类比成一个巨大的数据喷泉,源源不断的产生传感数据,而汇聚节点就是用来收集这些“数据水滴”的容器,如图 1 所示的模式是一个基于喷泉码进行数据收集的无线传感器网络,黑色的编码符号(码字)通过无线擦除信道被汇聚节点接收,数据传输模式为编码-汇聚-译码模式。只要

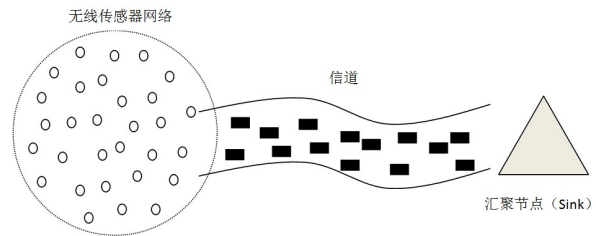


Figure 1. Wireless sensor networks based on fountain codes
图 1. 基于喷泉码的无线传感器网络

在编码阶段针对传感节点设计出合适的度分布函数,就能大大提高汇聚节点的译码成功概率。

Michael Luby 于 1998 年提出了喷泉码的概念^[8],喷泉码的设计需要主要考虑 2 方面的问题: 1) 译码开销 ϵ 尽量小,使其趋近于 0; 2) 编译码复杂度尽量低:理想情况下,希望做到每个编码分组需要的运算量是一个与 K 无关的常量,获得 K 个原始数据分组成功译码需要的运算量是 K 的线性函数。

2. LT 码的编码译码算法

LT 码属于喷泉码的其中一种,是一种由 K 个原始数据包根据自身的度分布进行编码而生成的,而接收端只要接收到 N (N 稍大于 K) 个数据包就可以高概率地译码^[9-11],而 LT 码自身的度分布决定了其译码性能,度是指与该编码包相连的原始数据分组数目,LT 码度分布用 $\rho(d)$ 表示,其意义在于:对于所有的度 d ,编码分组出现度为 d 的概率为 $\rho(d)$ 。

LT 码的编码就是根据度分布函数 $\rho(d)$,从 K 个数据包中随机地选取 d 个源数据包 s_k ,然后将这 d 个源数据包进行模二和,生成一个编码数据包。图 2 所示为 LT 码的编码流程图。

图 3 所示为一个编码数据包的生成过程。

LT 码的译码过程为:找到一个度为 1 的编码符号 t_n ,令与之相连的原始数据包 $s_k = t_n$,然后将 s_k 与所有和 s_k 有联系的编码后的数据包进行异或,最后删除所有与 s_k 相连的编码后的数据包。不断进行重复上述过程,直到找不到度为 1 的编码后的数据包。如果存在这样的数据包,表明没有全部译码。图 4 所示为 LT 码的译码流程图。

图 5 所示为 LT 码的译码算法实现过程。

3. 仿真分析^[12,13]

本节对 LT 码的性能进行仿真。仿真所用的软件

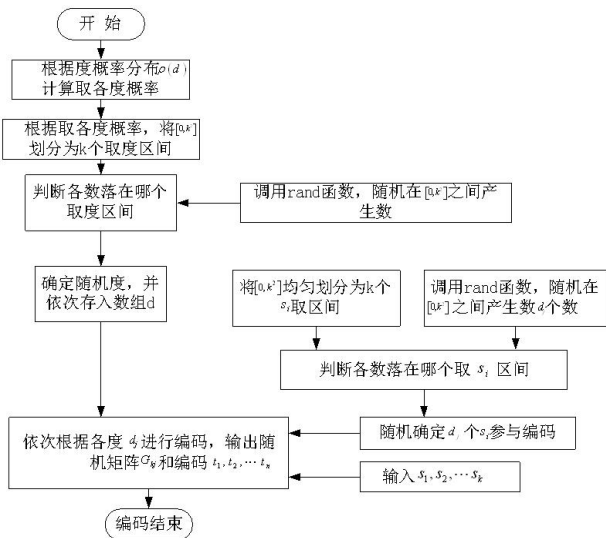


Figure 2. Code flow chart of LT codes
图 2. LT 码的编码流程图

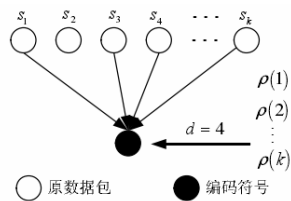


Figure 3. A coded packet generation process
图 3. 一个编码数据包的生成过程

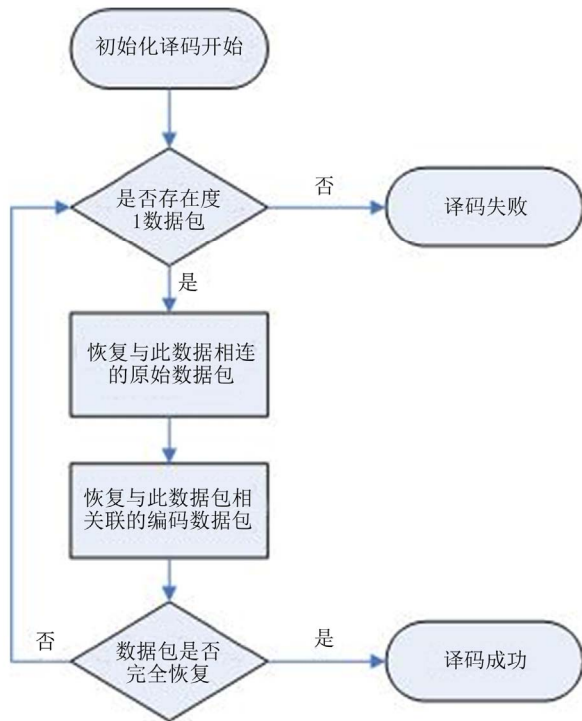


Figure 4. LT code decoding flow chart
图 4. LT 码的译码流程图

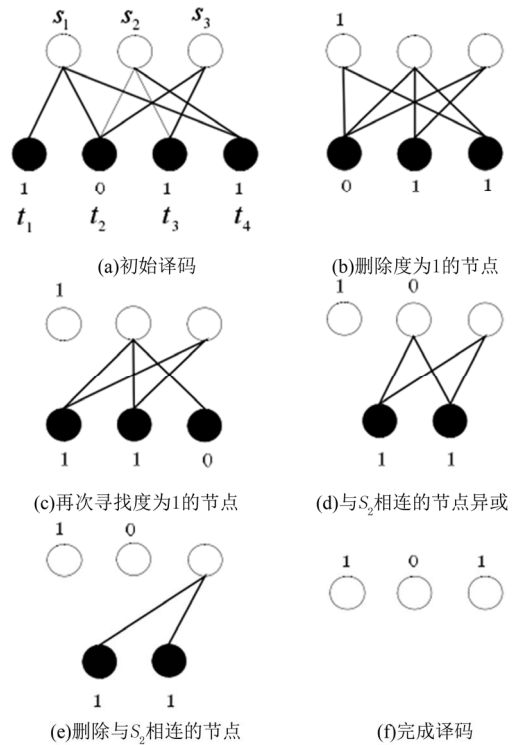


Figure 5. The decoding algorithm of LT code implementation process
图 5. LT 码的译码算法实现过程

是: VC 6.0、Matlab。所用参数是: LT 随机度生成用的是鲁棒孤波分布; 源数据包的长度 $K = 255$ 、 $K = 2000$ 、 $K = 4000$ 、 $K = 6000$ 、 $K = 8000$; 二进制删除信道的删除概率 p 分别等于起始值为 0.05, 步长为 0.05, 终值为 0.5; 常数 $c = 0.03$; 译码允许失败概率 0.5; 帧长 = 200。

3.1. 短码长的 LT 码的性能分析

本小节采用发送数据包长度为 $K = 255$, 结果如图 6 所示, 发送数据包长度 $K = 255$, 刻画短码长的性能我们用冗余度和成功译码概率关系图来描述。从图中我们可以看到, 在源数据包长度比较短的情况, 当我们依次增加信道噪声(即丢包率)时, 只有当冗余度不断的增加才能完全的恢复出所有的原始数据包。

以 $K = 255$, $q = 0.5$ 为例说明, 当接收端接收到 520 个包时 200 次迭代才能正确译码一次, 此时图中冗余度是信息源包的 2.03 倍左右。再继续接收成功译码的概率也随之增大。直到接收到 1080 个包即冗余度为信息源包的 4.23 倍时, 译码概率才达到 1, 之后就达到一个成功译码的稳定状态。

3.2. 长码长的 LT 码的性能分析

图 7 是数据包长度分别为 2000、4000、6000 和 8000 的性能仿真。

从图 7 中看到, 当源信息包为 $K = 2000$ 时, 当接收端接收到 2800 个左右数据包就能成功地译出源数据包, 我们还可以看到, 随着接收数据包的数目增加, 接收端能达到接近 100% 的成功译码。当信源数据包分别为 $K = 4000$, $K = 6000$, $K = 8000$ 时, 在接收端

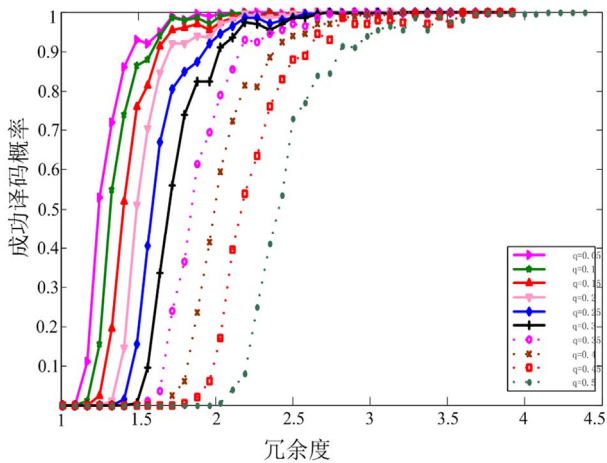


Figure 6. Decoding probability and redundancy between different deletion probability
图 6. 不同删除概率下译码率和冗余度比较

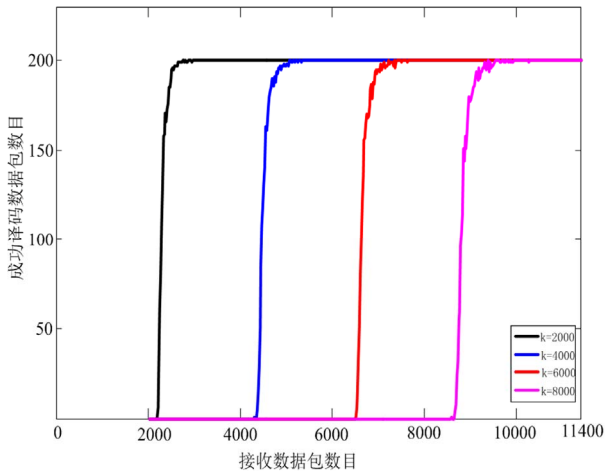


Figure 7. The number of successfully decoding data packets under the robust soliton distribution of LT codes
图 7. 鲁棒孤子分布的 LT 码成功译码数据包数目

如果接收到接近于 5000、7500 和 10,000 个数据包就能几乎完全成功译码。同时当接收数据包数目增多, 几乎每次都能译码成功。

4. 结语

本文主要介绍了喷泉码技术在智能电网无线传感网络中的应用, 详细介绍了 LT 码的度分布选择和编译码技术并进行了 Matlab 仿真验证。仿真结果证实了只要接收端能正确接收到足够的编码信息(实际接收编码数据包只需要接收略大于原始信源数据包)就可以译出原始数据信源, 很适合智能电网无线传感网络对于数据可靠性传输的要求。

参考文献 (References)

- [1] 孙利民, 李建中, 陈渝, 朱红松 (2005) 无线传感器网络. 清华大学出版社, 北京.
- [2] 黄绪勇, 刘沛, 苗世洪, 等 (2007) 无线传感自组网在电力监控中的应用动态. *电力系统自动化*, **31**, 99-103.
- [3] 许晓慧 (2009) 智能电网导论. 中国电力出版社, 北京.
- [4] 张强, 孙雨耕, 等 (2010) 无线传感器网络在智能电网中的应用. *中国电力*, **43**, 31-36.
- [5] 王兰, 唐智灵 (2009) 无线传感器网络中的分布式信源编码的仿真研究. *计算机系统应用*, **18**, 46-52.
- [6] Singhal, S. and Wu, L. (1998) Training multilayer perceptrons with the extended Kalman algorithm. *Advance in Neural Information Processing Systems*, **1**, 133-140.
- [7] Reed, I.S. and Solomon, G. (1960) Polynomial codes over certain finite fields. *SIAM Journal of Applied Math*, **8**, 300-304.
- [8] Luby, M. (2002) LT Codes. *Proceedings of the ACM Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS)*, **1**, 6-7.
- [9] Finamore, W.A. and Ramos, M.C. (2010) Improving the performance of LT codes. *7th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, York, 19-22 September 2010, 566-570.
- [10] Zhang, F., Xu, L.X. and Pan, X. (2011) Comparison of BP and Gauss code base on fountain code measuring. *3rd International Conference on Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, Shangshai, 6-7 January 2011, 737-740.
- [11] Zhu, H.J., Zhang, C. and Lu, J.H. (2007) Designing of fountain codes with short code-length. *3rd International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications*, Chengdu, 23-27 September 2007, 65-68.
- [12] 黄诚, 易本顺, 吴雄斌, 甘良才, 邓在辉 (2011) 短码长 LT 码的蚁群算法度分布优化. 武汉大学, CNKI, 武汉.
- [13] 郭春梅, 毕雪尧 (2010) LT 码的性能分析与研究. 中国科学院, CNKI, 北京.