

DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.201601053



# ZigBee 室内定位算法中数据预处理

樊晓冬<sup>1</sup>, 王佳斌<sup>2</sup>, 蔡灿辉<sup>2</sup>

(1. 华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021;  
2. 华侨大学 工学院, 福建 泉州 362021)

**摘要:** 为了尽可能地消除 ZigBee 网络中接收到的链路质量指示(LQI)值因受到各种干扰而产生的波动性, 对实际测量获得的 LQI 值使用不同的小波函数、不同的阈值及不同的分解层数进行小波降噪实验. 实验结果表明:使用小波降噪的方法,能够比较明显地滤除 ZigBee 网络中接收到的 LQI 值中所包含的噪声,同时使用不同的小波、不同的阈值及不同的分解层数,其降噪效果不同.

**关键词:** ZigBee; 链路质量指示; 小波降噪; 曲线拟合

**中图分类号:** TP 393      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5013(2018)02-0286-06

## Data Preprocessing in ZigBee Indoor Localization Algorithm

FAN Xiaodong<sup>1</sup>, WANG Jiabin<sup>2</sup>, CAI Canhui<sup>2</sup>

(1. College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;  
2. College of Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** In order to eliminate as much as possible the fluctuant, affected by various kinds of interference of the link quality indicator (LQI) values received in the ZigBee network, the experments for the LQI values obtained from the actual measurement are carried out using wavelet denoising method with different wavelet functions, different thresholds and different decomposition levels. The experimental results show that using the wavelet denoising method can obviously filtering the noise in the LQI values received in the ZigBee network. Meanwhile, using different wavelet, different threshold and different decomposition levels, the noise reduction effect is different.

**Keywords:** ZigBee; link quality indicator; wavelet denosing; curve fitting

定位技术是一项对人们生活影响较大且需求较多的技术. 目前,全球定位系统(GPS)能为飞机、船舶、车辆乃至个人提供室外定位服务,但 GPS 信号无法在室内接收<sup>[1]</sup>,限制了 GPS 在室内定位中的应用. 目前,ZigBee 定位技术是室内定位系统较常用的一种无线网络技术. ZigBee 技术<sup>[2]</sup>具有低成本、低功耗、网络自组织、数据传输数率低、复杂度低等特点,使 ZigBee 节点可以方便地在室内部署,并长时间稳定地提供服务. 本文采用 ZigBee 技术对室内定位算法进行数据预处理.

### 1 ZigBee 定位技术

#### 1.1 ZigBee 定位方法

目前,基于 ZigBee 的定位方法主要分为两大类:基于测距的定位方法和基于非测距的定位方法<sup>[3]</sup>.

**收稿日期:** 2016-01-22

**通信作者:** 王佳斌(1976-),男,副教授,博士研究生,主要从事物联网、嵌入式系统设计及大数据的研究. E-mail:fat-wang@hqu.edu.cn.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61372107);福建省泉州市科技计划重点项目(2003Z12)

相比于其他定位方法,链路质量指示(LQI)值可以直接从每个通信帧中获得,代入关系式即可求得节点间的距离. LQI 值具有较大的取值范围,有助于提高定位的范围和分辨率<sup>[4]</sup>. 定位节点无需增加额外的辅助定位的硬件模块,降低系统成本. 因此,基于 LQI 值的定位方法将有可能是未来室内定位系统主要采用的定位方式.

1.2 基于 LQI 的定位算法

LQI 是在 IEEE 802. 15. 4 协议<sup>[5]</sup>中定义的一个指示量,通常用于表征无线网络的链接质量<sup>[6]</sup>. 虽然协议对 LQI 进行了说明,但并没有明确给出它的具体内容<sup>[1]</sup>,一种可能的情况是,LQI 值的大小反映了接收信号强度(RSSI)及信噪比<sup>[7]</sup>. LQI 能体现无线传感器网络的网络状态,是网络的一个重要特征参数,被应用于许多实际系统中<sup>[8-10]</sup>. 新的研究表明:LQI 随着距离的增加而减小<sup>[1]</sup>. 这一特性使 LQI 值可以用于定位系统设计<sup>[11-13]</sup>. LQI 定位是一种基于测距的定位方式,在定位时,一般先通过曲线拟合得到 LQI 与距离  $d$  之间的关系式,依据关系式计算出盲节点(位置未知)和锚节点(位置已知)之间的距离,再通过三边定位或其他定位计算方法求得目标位置.

2 LQI 值进行小波降噪原理及过程

在理想的 ZigBee 定位系统中,当两节点距离不变时,接收到的 LQI 应为一个相同值. 但由于信号传输过程中噪声及其他因素的干扰,使接收到的 LQI 并不唯一,存在波动,且随着距离的增加,波动性也有所增大. 在实际定位应用中,LQI 值是定位计算的最初始参考数据,它的准确与否将影响后续的定位计算工作及定位的准确度. 因此,在将 LQI 值代入定位计算之前,需要对其进行必要的预处理.

目前,对于 ZigBee 定位的研究主要集中在定位方式的改变及算法和定位公式的创新和优化上,而对于采集到的原始数据进行预处理的研究较少<sup>[14-16]</sup>. 小波降噪是小波理论应用的一个重要方面,它是利用小波变换具有多分辨率分析的特点,将有用信号和噪声的时频特性展现出来,再利用有用信号和噪声在小波变换下特性不同,将其区分开来,进行降噪处理. 使用小波降噪方法滤除 LQI 信号中的噪声,减小其波动性,最终可得到一个比较准确可靠的 LQI 值<sup>[17-21]</sup>.

首先,使用小波降噪的方法对 LQI 信号进行降噪处理,对接收到的一定长度的离散 LQI 信号  $f(t)$  进行  $n$  层小波变换,将有用信号和噪声的特性转化到一系列的小波分解系数上. 然后,使用阈值对小波分解系数进行量化处理,以降低或消除  $f(t)$  中噪声,同时,得到目标小波系数. 最后,依据离散小波逆变换 ZigBee 网络中接收到的信号进行降噪处理.

3 降噪处理实验及结果

实验在 14 m×7 m 的空旷室内进行,选用搭载了符合 IEEE 802. 15. 4 协议标准的 CC2430 ZigBee 芯片的无线传感器模块作为实验的发送和接收节点,在距离地面 1. 25 m 高度的同一平面进行通信实验. 在接收节点使用 ZigBee 协议抓包分析软件 Packet Sniffer 读取接收到的每帧中的 LQI 值并记录. 在实际实验环境下,测量并记录了 3 组在不同距离下接收到的 LQI 值,然后,选用不同的小波函数、阈值及分解层数,在 Matlab 软件平台上进行小波降噪处理. 由于数据的方差能够反映数据波动性的大小,因此,采用方差作为分析和比较的主要标准,观察处理结果的方差变化.

3 组 LQI 值分别使用 db8, sym7 小波函数进行降噪处理,其数据结果的方差,如图 1~6 所示. 由图 1~6 可知:选用同一种小波函数降噪,在相同分解层数、不同阈值的情况下,消噪后数据的方差不同;选用不同的阈值,对信号的降噪效果不同,使用软阈值的降噪处理效果基本比使用硬阈值的效果好,处理后信号的方差更小;选用同一种小波函数降噪,在同一种阈值、不同分解层数情况下,消噪后数据的方差也不同,即使用不同的分解层数对降噪效果的影响不同;随着分解层数的增加,降噪结果的方差变化基本趋于平缓,即降噪效果基本稳定. 此外,分解层数的增加会增加算法的复杂度,因此,应在降噪效果和分解层数之间保持相互平衡.

采用除 db8, sym7 之外的其他小波函数对信号进行相同降噪操作后发现,结果基本相同. 使用 sqt-wolog 软阈值,分解层数在 4~5 层时,方差变化趋于平稳. 对采集到的数据中的一组分别使用 dau-

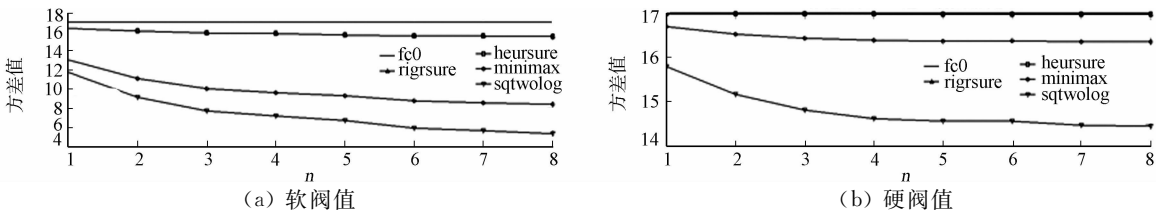


图 1 db8 小波处理第 1 组数据结果

Fig. 1 Processing results of first group data with db8 wavelet

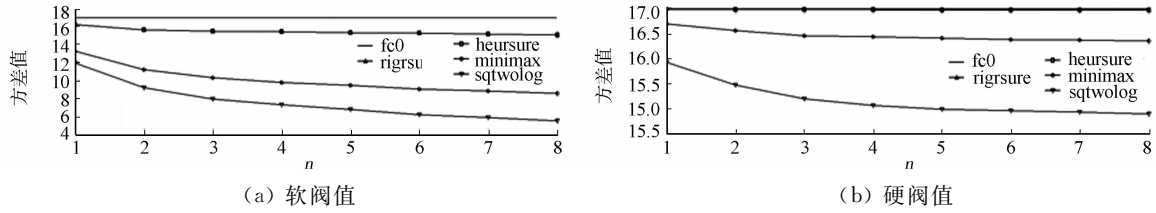


图 2 sym7 小波处理第 1 组数据结果

Fig. 2 Processing results of first group data with sym7 wavelet

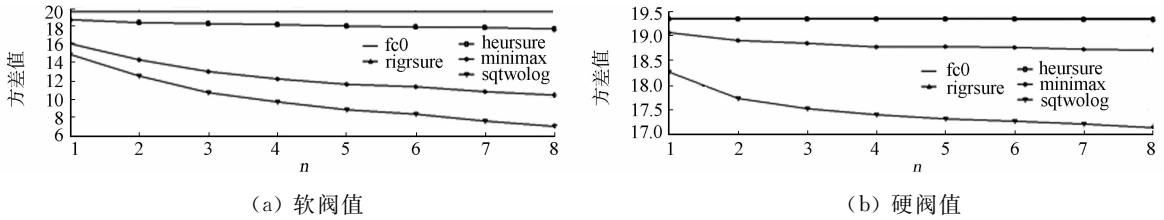


图 3 db8 小波处理第 2 组数据结果

Fig. 3 Processing results of second group data with db8 wavelet

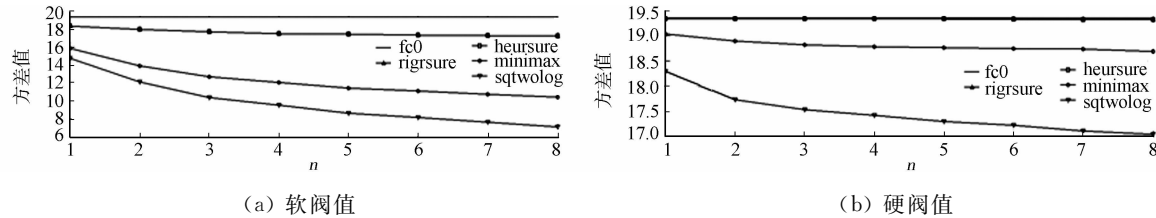


图 4 sym7 小波处理第 2 组数据结果

Fig. 4 Processing results of second group data with sym7 wavelet

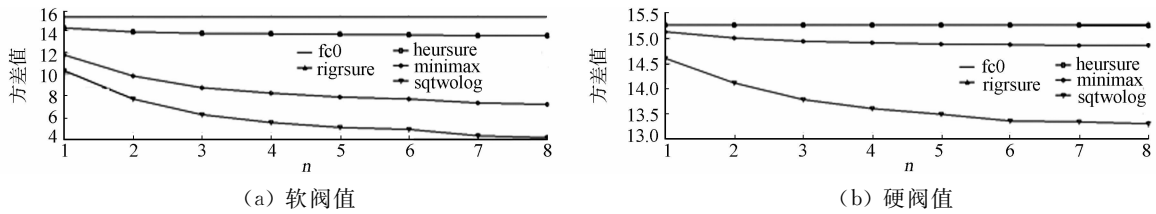


图 5 db8 小波处理第 3 组数据结果

Fig. 5 Processing results of third group data with db8 wavelet

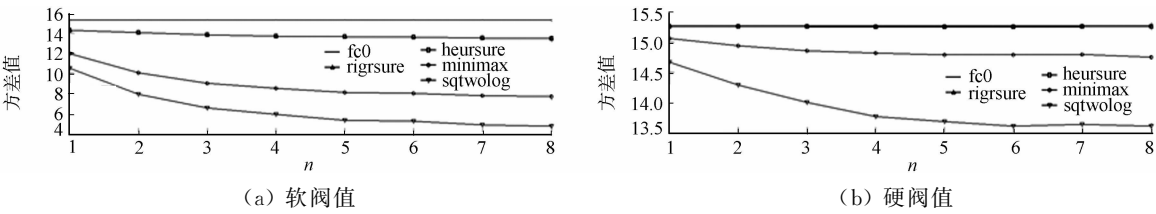


图 6 sym7 小波处理第 3 组数据结果

Fig. 6 Processing results of third group data with sym7 wavelet

bechies, biorthogonal, coiflet 及 symletsA 小波系中常用的小波函数, 采用 sqtwolog 软阈值 5 层小波分解, 使用 Matlab 软件中的 wden 自动消噪函数进行处理, 并绘制结果数据的方差, 如图 7 所示。

由图 7 可知:使用不同小波函数处理后数据的方差不同,说明在使用相同阈值及分解层数的情况下,采用不同的小波函数,具有不同的降噪效果.不同小波函数的复杂程度不同,在实际使用时,尽可能选择一个降噪效果好又相对比较简单的小波函数,必要时,可以根据构造规则构建消噪小波函数.

通过对实际采集的 3 组 LQI 信号值,选用不同的小波函数、不同的分解层数及不同的阈值,使用 Matlab 软件中的 wden 自动消噪函数进行小波降噪,以处理后结果的方差作为评价的标准,可以看出:选用不同的小波函数、不同分解层数及不同的阈值对信号的消噪效果不同.由于小波函数、分解层数及阈值规则的多样性,要确定它们之间的最优组合,需要依靠大量的理论分析及实际实验的研究.对 3 组数据选用 db8 小波、sqt-wolog 软阈值和 5 层分解层数,使用 wden 自动消噪函数处理前后的 LQI 值,如图 8 所示.图 8 中: $m$  为序号.

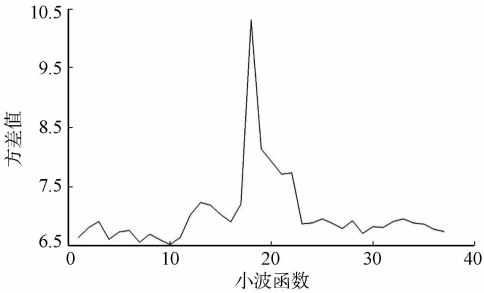


图 7 数据降噪处理后的方差  
Fig. 7 Variance of data after denosing

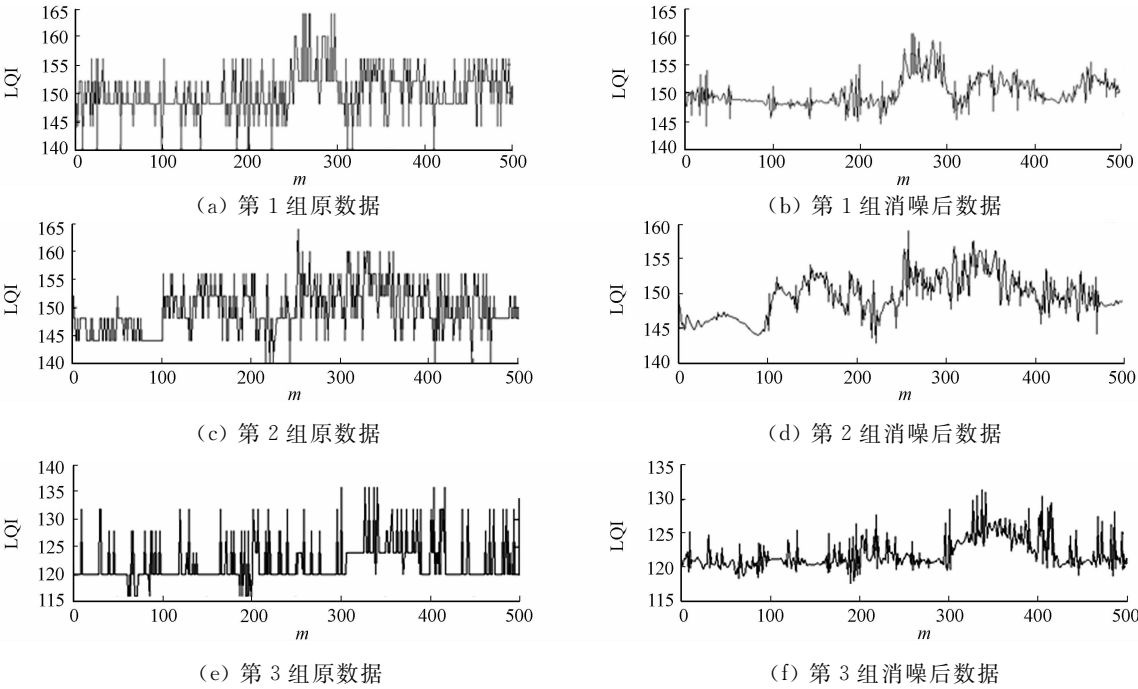


图 8 小波降噪处理前后的 LQI 值对比  
Fig. 8 LQI value comparison before and after wavelet denoising

4 实际应用及结果分析

在上述实验环境下,选用 2 个 ZigBee 节点,在 0~6 m 的距离范围内,每隔 0.3 m 作为一个测量点,每点上测量 10 次,每次测量采集并记录 50 个数据,每点总计 500 个 LQI 数据.对采集到的数据使用 wden 自动小波消噪函数进行处理后,再取均值作为该点的 LQI 值.然后,采用曲线拟合方法求取距离  $d$  和 LQI 值之间的关系式.

多项式曲线拟合是目前较为普遍使用的拟合方法,同时通过观察测量结果的散点图,数值的分布趋势大致与指数曲线相似,故选取如下 3 个拟合关系式.

1) 多项式曲线.其计算式为

$$LQI = a_1 d^4 + a_2 d^3 + a_3 d^2 + a_4 d + a_5.$$

2) 对数曲线.其计算式为

$$LQI = a_1 \log_x d + a_2.$$

3) 指数曲线. 其计算式为

$$LQI = a_1 x^{a_2 d} + a_3.$$

多项式曲线拟合结果,如图 9 所示.由图 9 可知:在当前采用的拟合曲线中,多项式曲线拟合效果最好,对数曲线的拟合效果最差,指数曲线的拟合效果一般.因此,选择多项式拟合的曲线作为 LQI 和  $d$  的关系曲线.数据在使用 db8 小波、sqtwolog 软阈值和 5 层分解层数消噪后进行多项式拟合的曲线为

$$LQI = 0.544\ 6d^4 - 7.744\ 9d^3 + 38.524\ 2d^2 - 91.964\ 2d + 247.883\ 6.$$

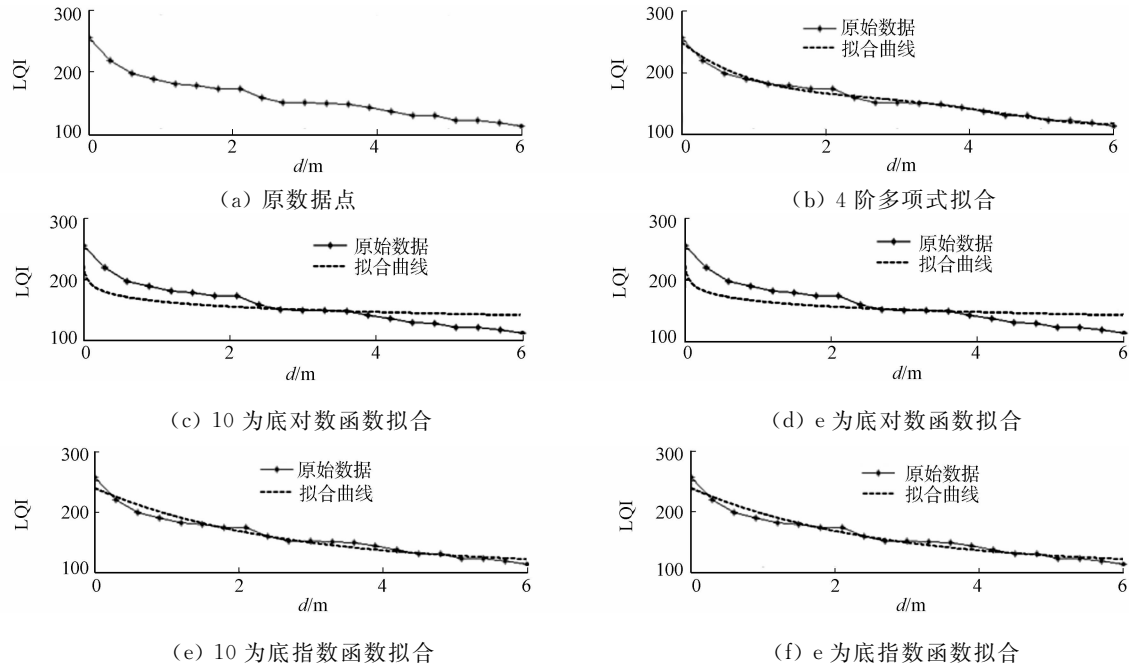


图 9 不同拟合关系式拟合效果对比

Fig. 9 Comparison of fitting effect of different fitting expression

将在 21 个测量点测量所得的 LQI 值的均值代入曲线计算对应的距离  $d$ ,计算结果的误差( $|\Delta d|$ ),如表 1 所示.由表 1 可知:测距误差最小为 0.005,最大为 0.603,基本可以满足一般无线传感器网络定位系统的定位要求.但由于实际环境的复杂性,对信号的干扰也是多方面的,小波降噪方法无法完全滤除接收信号中的干扰,而且随着距离增加,信号会衰减,受干扰程度会加强.同时,文中实验是以实际测量值为基础的研究过程,中间一些环节也可能会不同程度地引入一定的误差.

表 1 测距误差表

Tab. 1 Ranging error table

$d/m$	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
$ \Delta d /m$	0.075	0.073	0.154	0.059	0.013	0.207	0.284	0.577	0.171	0.603	0.340
$d/m$	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6.0	
$ \Delta d /m$	0.047	0.089	0.005	0.037	0.132	0.133	0.520	0.303	0.203	0.110	

5 结束语

采用小波降噪的方法对 ZigBee 定位系统中接收到的 LQI 信号进行预处理.使用小波降噪的方法,能够比较明显地滤除 ZigBee 网络中接收到的 LQI 值中所包含的噪声,而且使用不同的小波、不同的阈值及不同的分解层数,降噪的效果不同.如何合适的小波函数、阈值及分解层数组成一个最优组合,以达到最优的降噪效果,则需要进行更多的理论和实验研究.同时,由于实际应用环境对信号影响的复杂性,小波降噪方法的参数具有多选择性,小波降噪无法完全滤除接收信号中的所有噪声等原因,实验结果仍存在误差.因此,在今后的研究中,可以采用小波降噪和其他消噪方法相结合的方式,以求达到更好的消噪效果,提高使用 LQI 进行测距和定位的精度.

## 参考文献:

- [1] DIALLO C, MAROT M, BECKER M. A distributed link quality based d-clustering protocol for dense ZigBee sensor networks[C]// Wireless on Demand Network Systems and Services February. Venice: IEEE Press, 2010: 1-6. DOI: 10.1109/WD.2010.5657750.
- [2] 朱虔劫, 褚红燕. 基于 LQI 的节点测距实验研究[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2010, 10(3): 40-43. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1292.2010.03.009.
- [3] 张洁颖, 孙懋珩, 王侠. 基于 RSSI 和 LQI 的动态距离估计算法[J]. 电子测量技术, 2007, 30(2): 142-145. DOI: 10.3969/j.issn.1002-7300.2007.02.046.
- [4] 彭泓, 赵阳, 夏天鹏. 基于优化 RSSI 精度的 WSN 加权质心定位算法[J]. 计算机工程与应用, 2015(21): 88-91. DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.1310-0209.
- [5] 崔宝江, 梁姝瑞, 彭思维, 等. 基于节点克隆的 IEEE 802.15.4 协议动态安全检测技术[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2012(10): 1500-1506.
- [6] MARULKAR S, PRABHU V, KHADILKAR M. Indoor object localization[C]// Tenth International Conference on Wireless and Optical Communications Networks. Bhopal: IEEE Press, 2013: 1-5.
- [7] ZHENG Guanbo, HAN Dong, ZHENG Rong, *et al.* A link quality inference model for IEEE 802.15.4 low-rate WPANs[C]// Global Telecommunications Conference. Houston: IEEE Press, 2011: 1-6. DOI: 10.1109/GLOCOM.2011.6133782.
- [8] LI Chengming, NIEN C C, LIAO Jialiang, *et al.* Development of wireless sensor module and network for temperature monitoring in cold chain logistics[C]// International Conference on Wireless Information Technology and Systems. Maui: IEEE Press, 2012: 1-4. DOI: 10.1109/ICWITS.2012.6417745.
- [9] KWON J, AHN G, KIM S, *et al.* A study on energy-efficient tree routing protocol based on link quality metrics for remote air environmental monitoring system[C]// ICCAS-SICE. Fukuoka: IEEE Press, 2009: 4863-4868.
- [10] CHAABANE C, PEGATOQUET A, AUGUIN M, *et al.* Energy optimization for mobile nodes in a cluster tree IEEE 802.15.4/ZigBee network[C]// Computing, Communications and Applications Conference. Hong Kong: IEEE Press, 2012: 328-333. DOI: 10.1109/ComComAp.2012.6154866.
- [11] OHTSUKA J, ISOKAWA T, SAITOH A, *et al.* Implementing localization scheme on ZigBee wireless sensor network[C]// Proceedings of SICE Annual Conference. Taipei: IEEE Press, 2010: 1195-1199.
- [12] KOMAROV M M. A 2D indoor positioning system based on a wireless sensor network technology for power adjustable solutions[C]// IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications. Matsue: IEEE Press, 2014: 300-303. DOI: 10.1109/SOCA.2014.32.
- [13] 徐国艳, 孙劭轩, 王江锋, 等. 一种基于 LQI 的道路车辆定位方法实现[J]. 公路交通科技, 2010, 27(4): 122-127. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0268.2010.04.023.
- [14] 胡情情, 曾庆化, 赵飞, 等. 无线传感器网络 LQI 测距定位算法及其误差研究[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(1): 95-98.
- [15] 万国峰. 基于锚节点和高斯函数的测距算法[J]. 计算机工程, 2013, 39(2): 73-76. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2013.02.014.
- [16] 余成波, 张一萌, 李洪兵, 等. 无线传感器网络自校正定位算法[J]. 振动·测试与诊断, 2012, 32(1): 6-10. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6801.2012.01.002.
- [17] 张天祥, 黄小欣. 基于 Matlab 实现小波阈值去噪的图像处理方法[J]. 现代电子技术, 2013, 36(5): 103-105. DOI: 10.3969/j.issn.1004-373X.2013.05.031.
- [18] CHOURASIA V S, TIWARI A K. Design methodology of a new wavelet basis function for fetal phonocardiographic signals[J]. Scientific World Journal, 2013, 2013(2013): 1393-1399. DOI: 10.1155/2013/505840.
- [19] SEJDIC E, STEELE C M, CHAU T. A procedure for denoising dual-axis swallowing accelerometry signals[J]. Physiological Measurement, 2010, 31(1): 1-9.
- [20] 陈建均, 胡乃联, 李国清, 等. 基于小波消噪-神经网络的钻孔数据预处理[J]. 现代矿业, 2015(1): 108-110.
- [21] 于子晏, 王建. GPS 动态实测数据的小波降噪[J]. 山东交通学院学报, 2012, 20(1): 75-80. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0032.2012.01.017.