

# 基于动态窗口的图像线性目标快速检测算法

岳国伟

(山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:**为解决标准霍夫变换中冗余计算多、时间和空间复杂度高等问题,提出一种基于动态窗口的线性目标快速检测算法。算法执行过程中,仅计算动态窗口局部范围内满足直线参数的非零点,减少了图像全局查找直线参数的复杂性。实验结果表明,与标准霍夫变换相比,所提出的算法对不同尺寸的图像处理运行时间可节约 5% 以上,内存消耗可降低 10% 以上,具有一定的应用价值。

**关键词:**图像处理;动态窗口;平移规则;线性目标;快速检测

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2015)06-0096-06

## Rapid Detection Algorithm of Linear Target from Image Based on Dynamic Window

Yue Guowei

(Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of redundant computation as well as time and space complexity in the standard Hough transform, this paper proposed a rapid detection algorithm of linear target from image based on dynamic window. In the process of implementation of the algorithm, only the straight line parameters of non-zero points in the local area of the dynamic window were calculated, thus reducing the straight line parameter searching complexity of the global image. Experimental results show that, compared with standard Hough transform, this algorithm saves the processing time of images with different sizes over 5% and reduces more than 10% of memory consumption, indicating that it is of certain value in application.

**Key words:** image processing; dynamic window; shift rules; linear target; rapid detection

在图像分析和模式识别中,线性目标检测和提取常用于道路裂缝病害巡检、铁路交通钢轨识别、电力输电线路检测等工程环境,具有较高的应用价值。霍夫(Hough)变换是进行直线检测的一个可靠方法,对图像中的噪音不敏感,能够较好地处理局部遮挡、覆盖等情况,具有较好的抗干扰能力。但是,由于需要遍历整幅图像所有的像素点,导致时间复杂度和空间复杂度都很大,不利于实时性要求很高的图像处理场景。

为了提高线性目标检测和提取的效率,不少学者进行了相关研究。邱桑敏等<sup>[1]</sup>通过近似迭代的方法计算霍夫变换的函数值,以降低时间复杂度、提高计算速度,但该方法是以牺牲存储空间为代价的,内存消耗大。滕今朝等<sup>[2]</sup>提出斜率分式查表法,能有效减少霍夫变换计算总量,实时高精度检测直线,但是当斜率接近于无穷时,需要特设数组元素,增加了计算复杂性。张国英等<sup>[3]</sup>采用对线性目标的边缘链码进行 Hough 变换的策略,能解决重复检测、效率低、精度差的问题,可以有效检测图像中的平行线性目标,但在道路宽度忽然改变的情况下效果不理想。

针对 Hough 变换内存消耗大、计算总量多、适应性差等问题,本研究提出一种基于动态窗口的线性目标

收稿日期: 2015-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(71403151)

作者简介: 岳国伟(1982—), 山东泰安人, 讲师, 博士研究生, 主要从事模式识别、点云数据处理等研究。

E-mail: flashygw@163.com

快速检测算法。按照先局部后整体的检测顺序,先由窗口内的像素点确定直线参数,然后检测直线所属窗口区域之外的其他像素点;完成一次检测后,动态窗口按照一定规则平移遍历整幅图像,迭代检测和提取图像中所有线性目标。

### 1 霍夫变换基本原理

Hough 变换实质上是对图像进行坐标变换,将图像空间的点映射到参数空间,使变换后的结果便于检测和识别<sup>[4]</sup>。图像空间中一条直线的参数方程为

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta, 0 \leq \theta \leq \pi . \tag{1}$$

根据式(1)可将图像空间中的任意一点  $(x, y)$  转换到以  $\rho$  和  $\theta$  为坐标轴的参数空间。标准的 Hough 变换过程<sup>[5]</sup>为:设图像大小为  $m \times n$ ,  $\rho \in [-\sqrt{m^2 + n^2}, \sqrt{m^2 + n^2}]$ ,  $\theta \in [0, \pi]$ , 将参数空间量化成  $p \times q$  ( $p$  为  $\theta$  的等分数,  $q$  为  $\rho$  的等分数)个累加单元,并将每个累加单元的初始值设为 0;对于图像空间的每一个非零点  $(x, y)$  在参数  $\theta$  的每个区间内计算  $\rho$  的值,并将对应参数空间的累加单元加 1;统计参数空间中所有累加单元的值,大于阈值的累加单元对应的  $\rho$  和  $\theta$  的值便是图像空间中所要检测的直线<sup>[6]</sup>。

将变换应用到图像线性目标检测时,面临以下问题:

- 1) Hough 变换依据线对偶性,即一个图像空间的点对应参数空间的一条曲线,反之亦然,在变换中需要遍历  $\theta$  轴上所有可能的值,由于实际有效的函数值所占比重不高,造成大量冗余计算。
- 2) 工程应用中,根据检测分辨率的要求,需要将极坐标系量化成较小的格网单元建立参数空间,即将  $\theta$  和  $\rho$  分别离散化为数量众多的参数区间;在检测精度要求很高的场合,  $\theta$  往往取值很小,使得计算负担大大增加,时间复杂度过高。
- 3) 用来累加计数参数空间的网格单元所消耗的内存空间较大,对有限的计算机资源造成大量的内存消耗,降低空间存储使用效率。

### 2 基于动态窗口的线性目标快速检测算法

动态窗口是指在图像中选定一个局部图像特征范围,线性参数对的确定只在该范围内进行;窗口在算法执行过程中,不是静止不动,而是根据窗口图像像素灰度均值的变化发生动态平移。

为解决标准 Hough 变换全局查找而带来的计算复杂性问题,本研究提出一种基于动态窗口的线性目标检测方法,只需计算动态窗口内的直线有效参数对,然后通过区域生长确定属于该直线的其他像素点,减少算法时间复杂度;处理过程中,窗口根据平移规则实现识别、标注和清零,窗口平移到新的位置后,上一个窗口计算中涉及的内存将会全部释放,从而有效缓解空间内存消耗<sup>[7]</sup>。基于动态窗口的线性目标提取算法流

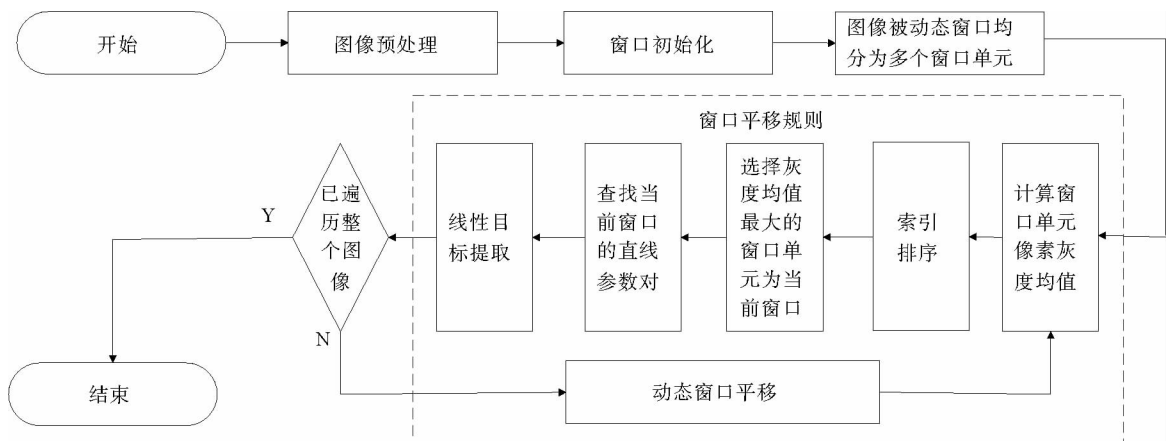


图 1 基于动态窗口的线性目标提取算法流程图

Fig. 1 Algorithm flow chat for rapid detection of linear target from image based on dynamic window

程如图 1 所示,窗口平移规则是算法的重要组成部分。

### 2.1 动态窗口初始化和平移规则

根据图像目标的分辨率,初始化动态窗口的尺寸,确定动态窗口  $R$  的尺寸。根据  $R$  的大小,图像可被分割为  $t$  个窗口单元,假设图像大小为  $m \times n$ ,动态窗口大小为  $r$ ,窗口单元中非零像素点的数量为  $n_i$ ,则窗口单元数量为  $t = (m \times n) / (r \times r)$ ,窗口单元的灰度均值为  $\mu_i = n_i / (r \times r)$ 。图 2 所示为动态窗口将图像分割为  $t$  个窗口单元的示意图。

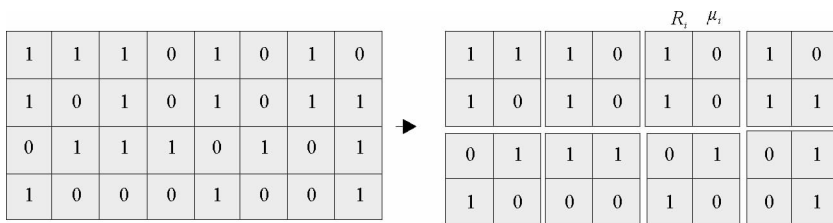


图 2 动态窗口将图像分割为多个窗口单元示意图

Fig. 2 Dynamic window dividing the image into several window units

窗口平移的基本思想:动态窗口平移时,不是简单地自左向右、自上而下,而是根据窗口单元灰度均值大小来确定<sup>[8]</sup>。首先,计算当前所有窗口单元的像素灰度均值,然后将窗口单元根据像素灰度均值大小排列,具有最大灰度均值的窗口单元即为动态窗口的当前位置。动态窗口的灰度均值越大,说明该窗口中非零像素点数量越多,越有利于直线参数确定和线性目标提取。

当前窗口  $R'$  直线提取操作完成后,由  $R'$  内确定的直线集合  $M'$  及其外部区域内隶属于  $M'$  的像素点需要标记并且清零,因此,窗口平移到下一个新的位置前,需要重新计算剩余窗口单元的像素灰度均值。动态窗口的下一个位置,总是选择所有剩余窗口单元中其灰度均值最大的窗口。若当前窗口位置为  $R_i (1 \leq i \leq t)$ ,则动态窗口的下一个位置  $R_{next}$  需要满足:

$$\begin{cases} R_{next} \in \{R_1, R_2, \dots, R_{i-1}, R_{i+1}, \dots, R_t\} \\ \mu_{next} = \max\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{i-1}, \mu_{i+1}, \dots, \mu_t\} \end{cases} \quad (2)$$

窗口平移示意图如图 3 所示。 $R_1$  为所有  $t$  个窗口单元中像素灰度均值最大的窗口单元; $R_2$  为窗口  $R_1$  进行直线标注并将直线所属像素点清零后,再重新计算剩余  $t - 1$  个窗口单元的灰度均值,取灰度均值最大的窗口; $R_3$  为  $t - 2$  个窗口单元中灰度值最大的窗口。以此类推,直至遍历整个图像区域。

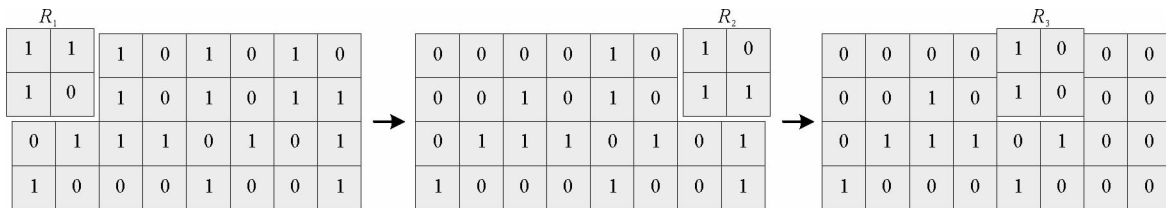


图 3 窗口平移示意图

Fig. 3 Diagram of window movement

### 2.2 算法实现步骤

基于动态窗口的线性目标提取算法主要包括动态窗口初始化、查找当前窗口中直线参数、直线提取与标注、窗口平移到新的位置等几个过程,具体步骤如下。

**Step 1** 根据图像大小,确定动态窗口尺寸大小  $r \times r$ ,计算每个窗口单元的灰度均值  $\mu$ ,选定灰度均值最大的窗口为动态窗口的初始位置。

**Step 2** 确定动态窗口  $R$  中的直线参数对。根据几何学原理,平面上不同的两点唯一确定一条直线。

因此,在图像空间中,取两个不同的非零像素点  $A$  和  $B$ ,则根据式(3)可以测算出表示直线  $AB$  的参数对  $(\rho_{AB}, \theta_{AB})$  :

$$\begin{cases} \theta_{AB} = \tan^{-1} \left( \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B} \right) \\ \rho_{AB} = x_A \cos \theta_{AB} + y_A \sin \theta_{AB} \end{cases} \quad (3)$$

对窗口  $R$  区域中的任意两个非零点,计算其所属直线的参数对  $(\rho, \theta)$ 。设  $\rho$  的偏差范围为  $\delta\rho$ ,  $\theta$  的偏差范围为  $\delta\theta$ ,统计每个参数区间  $(\rho + \delta\rho, \theta + \delta\theta)$  中参数的个数  $N_i$ 。设定阈值  $L_r$ ,找出  $N_i$  大于  $L_r$  的参数对  $(\rho, \theta)$  集合  $M$ ,即:对  $\forall (\rho_i, \theta_i)$ ,若满足  $(\rho_i + \delta\rho, \theta_i + \delta\theta)$  中参数对个数大于阈值  $L_r$ ,则  $(\rho_i, \theta_i) \in M$ 。

**Step 3** 区域生长查找窗口  $R$  之外所属直线的像素点。对集合  $M$  中的每一个参数对  $(\rho_i, \theta_i)$ ,即  $\forall (\rho_i, \theta_i) \in M$ ,选取满足参数对的任意一点  $I(x_i, y_i)$ ,在窗口  $R$  之外的图像区域,检测每一个非零点  $J(x_j, y_j)$ 。对点  $J$ ,取  $\theta_j = \theta_i$ ,计算  $\rho_j$ ,判断  $J$  是否属于直线  $(\rho_i, \theta_i)$ :若属于,则标记  $J$  点及其所属直线  $(\rho_i, \theta_i)$ ,之后置  $J$  点为 0。检测完毕,输出直线  $(\rho_i, \theta_i)$  上所有点,将窗口区域中满足  $(\rho_i, \theta_i)$  的点置零,以便减少窗口平移后的计算量。

**Step 4** 根据平移规则,动态窗口平移到新的位置,继续提取线性目标。

重置图像像素点灰度值后,计算剩余窗口单元的灰度均值大小,选择灰度均值最大的窗口作为窗口平移的下一个位置,转 Step2 和 Step3。依次迭代,直到窗口平移遍历完整个图像区域,查找到图像中的所有线性目标。

## 2.3 算法性能分析

### 2.3.1 时间复杂度分析

设定图像尺寸为  $m \times n$ ,动态窗口  $R$  尺寸为  $r \times r$ ,用  $N_R$  表示动态窗口  $R$  中非零特征点的数量,  $N_f$  表示整幅图像中非零特征点的数量,假设计算机每个指令执行的时间为 1 个单位。基于窗口平移的算法中,时间消耗主要由三部分组成。

①窗口区域内直线参数确定的时间消耗:

$$T_1 = C_{N_R}^2 = \frac{1}{2} N_R (N_R - 1) \quad (4)$$

②区域生长查找  $R$  之外所属像素点的时间消耗:

$$T_2 = N_f - N_R \quad (5)$$

③窗口平移到新的位置直至遍历整个图像区域,搜索图像全部线性目标所消耗的时间。

考虑到每次直线区域生长中需要把窗口区域之外所属直线上的非零特征点置零,所以每次窗口平移后整个图像区域中的非零特征点的数量  $N_f$  将会持续减少,这也意味着窗口平移到新的位置后,动态窗口中非零特征点的数量将会比原始图像对应窗口中的非零点数量减少。随着计算迭代的深入,式(4)和式(5)的计算量将持续减少。

### 2.3.2 空间复杂度分析

尺寸为  $m \times n$  的图像,在标准霍夫变换中占用的存储空间可以认为是  $o(n^2)$ 。本算法所需的计算机内存资源主要用来存储窗口中非零特征点确定的直线参数对  $(\rho, \theta)$ ,在窗口平移时,前一个窗口区域占用的内存空间已经释放,所以算法所需的内存空间不会叠加增长,算法运行主要的内存消耗为  $\frac{1}{2} N_R (N_R - 1)$  个存储单元。

## 3 实验及结果分析

### 3.1 实验设计

算法代码基于 Opencv3.0 开发平台,编程语言 C++,运行硬件环境:CPU 为 Intel(R) Core(TM),主频 2.66 GHz,内存 2 GB,操作系统为 Windows 7.0。在相同的实验条件下,运行耗时越少、内存消耗越少则表示算法效率越高。本文以不同分辨率的图像为实验对象,实际得到的时间消耗情况和内存消耗情况见表 1。实验结果表明,针对尺寸为  $128 \times 128, 256 \times 256, 512 \times 512, 1024 \times 1024, 2048 \times 2048$  像素的 5 种图像,

本文算法与标准霍夫变换相比,时间分别节约 7.17%,8.44%,6.69%,7.00%,8.29%,内存消耗分别节约 10.33%,13.45%,12.19%,14.09%,16.91%。

表 1 时间和内存消耗对比情况

Tab. 1 Time and memory consumption contrast

图像尺寸/像素		128×128	256×256	512×512	102×1024	2048×2048
消耗时间/s	标准霍夫变换	0.092 10	0.127 30	0.315 60	0.706 00	2.136 80
	本文算法	0.085 50	0.116 56	0.294 50	0.656 58	1.959 60
消耗内存/KB	标准霍夫变换	4.116	5.227	7.416	14.615	48.526
	本文算法	3.691	4.524	6.512	12.556	40.320

### 3.2 提取结果

实验使用的是某城市街道路面采集图像,被采集的路面因使用时间较长而出现了网状裂纹<sup>[9-10]</sup>,实验目的是为了提取路面裂纹并自动标注。

线性目标提取过程如图 4 所示。图 4(a)为含有裂缝的原始图像。图 4(b)为提取图像边缘后得到的结果。图 4(c)是在保持图像细节的前提下,进行自适应均值滤波后的图像。图 4(d)是对图像进行二值化处理后的效果。图 4(e)是根据本文算法提取出线性裂缝后的结果,由于设置的直线提取阈值  $L_r$  较小,导致提取的结果中有大量的琐碎线段存在。图 4(f)是进一步改进直线提取阈值  $L_r$  后的提取效果,去除了不必要的琐碎线段干扰。从结果看,本文算法能有效提取路面图像中的裂缝并实时标注,达到了较好的结果。

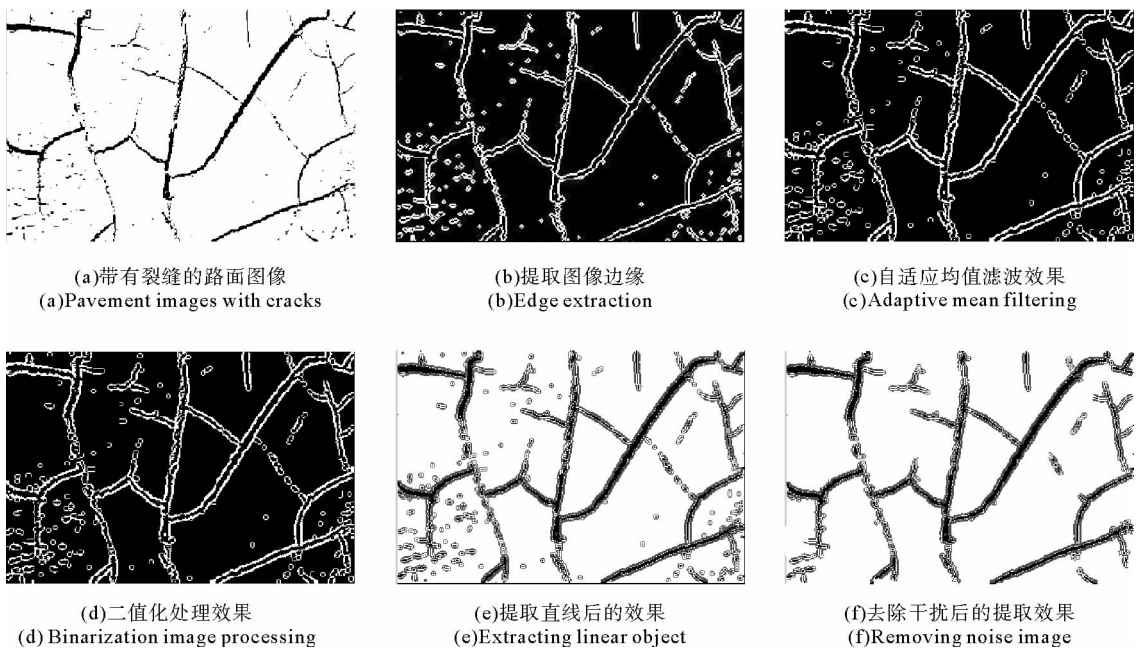


图 4 线性目标提取示意图

Fig. 4 Linear object extraction

### 4 结束语

本研究提出的线性目标提取方法,基于动态窗口提取图像线性目标,运算过程仅计算灰度均值最大窗口内的直线参数,有效降低了直线参数计算总量,算法时间复杂度和空间复杂度都有所降低。实验结果表明,该方法能准确提取图像中的线性目标,并有效滤除图像噪声的干扰。后续研究将进一步把线性提取方法与遗传算法、神经网络、水平集方法等相融合,逐渐提高算法的自动化水平,提高解决复杂工程图像问题的能力。

## 参考文献:

- [1]邱桑敏,夏雨人.一种快速霍夫变换算法[J].计算机工程,2004,30(2):148-150.  
Qiu Sangmin,Xia Yuren. A new fast hough transform algorithm[J]. Computer Engineering,2004,30(2):148-150.
- [2]滕今朝,邱杰.利用 Hough 变换实现直线的快速精确检测[J].中国图象图形学报,2008,13(2):234-237.  
Teng Jinzhao,Qiu Jie. Fast and precise detection of straight line with Hough transform[J]. Journal of Image and Graphics, 2008,13(2):234-237.
- [3]张国英,程益钰,朱红.基于改进 Hough 变换的线性目标检测[J].计算机工程与设计,2014,35(2):536-540.  
Zhang Guoying,Cheng Yiyu,Zhu Hong. Detection of linear target based on improved Hough transform[J]. Computer and Design,2014,35(2):536-540.
- [4]Mukhopadhyay P,Chaudhuri B B. A survey of Hough transform[J]. Pattern Recognition,2015,48:993-1010.
- [5]赵小川. MATLAB 图像处理:能力提升与应用案例[M].北京:北京航空航天大学出版社,2013:185-192.
- [6]Wang J,Zhu Q,Wang W,et al. Straight line extraction algorithm by Hough transform combining edge grouping[J]. Journal of Remote Sensing,2014(1):186-192.
- [7]周艳,唐权华,蒋朝哲.图像快速自适应加权中值滤波[J].微计算机信息,2008(21):168-169.  
Zhou Yan,Tang Quanhua,Jiang Chaozhe. Fast adaptive weighted median filter for image[J]. Microcomputer Information, 2008(21):168-169.
- [8]Wang Y L,Li Q J,Li Z X,et al. City road-net extraction algorithm based on improved Hough transform[J]. Computer & Modernization,2013,1(3):63-66.
- [9]Wang C. Straight line detection via randomized Hough transform based on spatial moment[J]. Computer Measurement & Control,2014(1):73-78.
- [10]王耀东,余祖俊,白彪,等.基于图像处理的地铁隧道裂缝识别算法研究[J].仪器仪表学报,2014,35(7):1489-1496.  
Wang Yaodong,Yu Zujun,Bai Biao,et al. Research on image processing based subway tunnel crack identification algorithm [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2014,35(7):1489-1496.

(责任编辑:吕文红)

---

## (上接第 95 页)

- Song Min,Shen Yanchun. Research and realization of dead reckoning algorithm for indoor localization[J]. Computer Engineering,2013(7):293-297.
- [8]Li W,Wang J L. Magnetic sensors for navigation applications:an overview[J]. Journal of Navigation,2013,67(2):263-275.
- [9]Ibarra B M N,Escamilla-Ambrosio P J,Ramirez C J M. Pedestrian dead reckoning towards indoor location based applications [C]//International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control. Mexico City,Oct. 26-28,2011:1-6.
- [10]Alzantot M,Youssef M. Uptime:Ubiquitous pedestrian tracking using mobile phones[C]//IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Shanghai,June 15,2012:3204-3209.
- [11]王克己.室内定位系统中的行人航迹推算研究[D].北京:北京邮电大学,2015:34-60.
- [12]田增山,朝磊,邢培基,等.行人导航系统中航迹推算参数估计方法的研究[J].电子技术应用,2009,35(12):84-87.  
Tian Zengshan,Chao Lei,Xing Peiji,et al. Research on a method for dead reckoning parameter estimation in pedestrian navigation system[J]. Application of Electronic Technique,2009,35(12):84-87.
- [13]郑学理,付敬奇.基于 PDR 和 RSSI 的室内定位算法研究[J].仪器仪表学报,2015,36(5):1177-1185.  
Zheng Xueli,Fu Jingqi. Study on PDR and RSSI based indoor localization algorithm[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2015,36(5):1177-1185.
- [14]李勃.基于 RFID 和航位推测法的室内航迹追踪技术研究及实现[D].上海:上海交通大学,2014:51-70.
- [15]Ai G X,Sheng P X,Du J L,et al. Barometric altimetry system as virtual constellation applied in CAPS[J]. Science in China, 2009,52(3):376-383.

(责任编辑:吕文红)