

基于 RSSI 的无线传感器网络室内定位算法研究

黄 威,张玲华

(南京邮电大学 通信与信息工程学院 江苏省通信与网络技术工程研究中心,江苏 南京 210003)

摘 要:针对传统的室内定位算法要求被测对象携带有源的设备或者电子标签的局限,以及现有的无源室内定位大部分都是考虑单目标定位,或者是多目标一起移动的情况,设计了一种利用无线传感器网络的接收信号强度(RSSI)来实现双目标无源室内定位的算法。该算法利用移动的物体会改变无线链路接收信号强度这一基本原理,根据时间窗内 RSSI 方差的变化来检测目标是否出现。对于被检测到的目标,首先根据 RSSI 单位时间窗内方差挑选出高于阈值的异常链路并赋予权重,再通过挑选法对异常链路进行分组,然后通过最小误差法得到初级定位点,最后计算初级定位点附近的所有点,选出权重与距离平方累积误差最小的点,这些就是通过算法定位出的目标点。仿真结果表明,被定位点与定位点之间距离小于 0.5 m 的可能性占有所有仿真结果的 90%。

关键词:无线传感器网络室内定位;双目标;RSSI 方差检测;最小误差定位;权重链路

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)10-0064-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.10.012

A RSSI-based Two Targets Wireless Sensor Network Indoor Localization Algorithm

HUANG Wei,ZHANG Ling-hua

(Jiangsu Engineering Research Center of Communication and Network Technology,
School of Telecommunication and Information Engineering,Nanjing University of Posts and
Telecommunications,Nanjing 210003,China)

Abstract:Aiming at the limitation of traditional indoor location algorithm,which requires the tested person or object to carry an active device or electronic tag,and the fact that most of the existing indoor device free passive localization is based on single target location or multiple targets moving together,we design a device free passive (DFP) method based on the received signal strength of wireless sensor network (WSN). We use the basic principle that a moving object will change the signal strength of the wireless link to detect the presence of a target according to the change of RSSI variance in the time window. For the detected targets,the abnormal links above the threshold are first selected according to the RSSI unit time window variance and weighted,and they are grouped by the selection method. Then,the primary localization point is obtained by the minimum error method. Finally,all the points near the primary localization point are calculated,and the points with the minimum cumulative error of weight and distance square are selected. These are the target points located by the algorithm. The simulation shows that the distance between the located point and the predicted point is less than 0.5 m,which accounts for 90% of all simulation results.

Key words:indoor WSN localization;two targets;RSSI variance detection;minimum error localization;weighted links

0 引 言

定位在许多应用中起到了关键作用,比如地理导航、位置感知数据处理。近年来,许多定位技术被提出,比如蓝牙技术、Wi-Fi 技术、超声波定位技术、红外线室内定位技术、射频识别技术以及新型的超宽带技术等。应用较广的是 Wi-Fi 技术和蓝牙技术,因为可

以直接利用室内已有的 Wi-Fi 和蓝牙设备,实现比较容易。但是,由于 Wi-Fi 和蓝牙信号易受环境干扰,信号不稳定,而其他方法对设备要求较高,算法较为复杂,因此目前仍无法大面积推广。

无源室内定位则不需要携带有源设备,进入无线环境的人或者物体因为会改变环境,都将会被检测到。

收稿日期:2019-10-10

修回日期:2020-02-25

基金项目:江苏省研究生创新训练计划项目(SJCX18_0282)

作者简介:黄 威(1995-),男,硕士,研究方向为无线传感器网络室内定位;张玲华,博士,教授,博导,研究方向为新一代无线通信网络中的通信与信号处理技术。

无源室内定位具有很好的应用前景,比如侦测室内入侵、工业财产设施保护、定位被困室内人员以及老年养护等^[1-3]。所以无源室内定位近年来吸引了很多人的注意。基于 RSSI 的无源室内定位,由于布置简单,低花费而受到广泛研究。这项技术通过测量各个节点之间接收信号的强度改变来进行识别定位^[4-7]。

Yousff 等^[3]通过 Wi-Fi 设备可以侦测到单个入侵者,其侦测率较高,假阳性结果较小。Zheng 等^[8]提出适应性的框架结构从而在室内环境中侦测出变速物体。作者进行了一系列实验,测试了不同速度对定位精度的影响,从而提高了不同速度的定位准确性。Ahmed 等^[9]提出了一种新型的无线环境下的室内无源定位系统。提供了低开销,准确和稳健的运动检测,并给出了跟踪能力。Seifeldin 等^[10]提出了大规模室内无源定位和追踪。在多径效应下,它的定位精度相对较高。Xu 等^[11]更好地描述了无源定位的本地化分类模型,改进了数据集的质量,并且减少了多径效应引起的误差。Zhang 等^[12]提出了三种无源室内定位方法,并且讨论到了多目标对结果产生的影响。文献[13-14]中用到的基于 RSS 的在实际应用中的定位,该方法因为路径损耗模型的多样性,而导致算法显得极不可信。而在文献[15]中提出了基于 RSSI 的侧向定位方法,他们认为用 RSSI 来提高室内定位的精度,数值计算方法是非常重要的。

以上研究中基于 RSSI 的 WSN 无源室内定位都是定位单目标,或者是多目标成群同时移动。然而,在现实场景中,大多数的情况都是多目标分别移动,这样就需要进行多目标定位。张子博等^[17]提出了利用 WIFI 技术实现室内多目标定位,可以在短距离内较准确地推算出用户位置,但长时间后会出现误差累计的现象。所以该文利用 RSSI,在室内的特定位置摆放发射器和接收器,当目标出现在无线环境中,接收信号强度的方差值将进行大幅度变化。如果发射器和接收器的数量较多,目标将会改变多条链路,该文提出权重链路最小误差定位法和异常链路选取法,完成多目标定位。权重链路最小误差法,是通过链路接收信号的强度方差值,给链路赋予权重。通过仿真,发现该方法有效并可以用于大型室内定位系统。

1 RSSI 时间窗方差侦测

每个接收器和发射器之间的连线就是无线链路。将发射器和接收器分别取做 TX_i 和 RX_i , 这里 $0 < i < n-1$ 。链路称为 l 。构建如图 1 所示的坐标系, TX_0 和 RX_0 的坐标分别为 $(0,0)$ 、 (L,W) 。接收器和发射器在 Y 轴方向上都是等间隔排列的。

定义 $r_{l,T}(i)$ 为第 l 个链路上在时间窗 T 内的第 i

个接收信号强度样值。通过 $r_{l,T}(i)$ 值计算接收信号强度方差。方差值公式如下:

$$\hat{\sigma}_{l,T}^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=0}^{M-1} (\overline{r_{l,T}} - r_{l,T}(i))^2 \quad (1)$$

其中, M 是时间窗 W 中的接收信号强度样值数, $\overline{r_{l,T}} = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} r_{l,T}(i)$ 是样值的平均值。一个较大的接收信号强度方差值,说明有物体很接近或者是穿过链路。给定一个阈值 t , 如果接收信号强度方差值超过这个阈值,那么就说明物体穿过或者离第 l 个链路很近, 这条链路即为异常链路。

在长为 L m, 宽为 W m 的室内两边分别摆放上 n 个发射器和 n 个接收器, 相比于 Li 等^[16]提出的把房间分割为两部分的方式, 该文认为只需要在房间左右摆上信号发射和接收装置即可, 结果如图 1 所示。

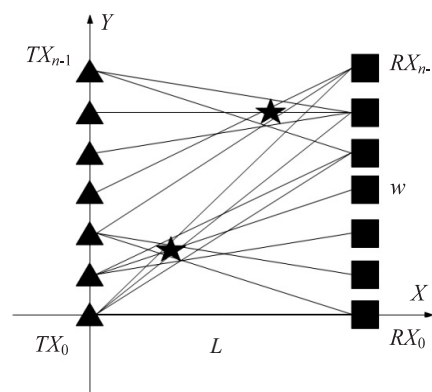


图 1 发射器、接收器位置摆放

2 多目标定位

首先介绍基于最小二乘法的单目标最小误差定位。预估的结果将会成为后续优化运算的基础。然后, 提出基于单目标最小误差定位和预估目标与异常链路距离测量的权重链路最小误差定位法。最后, 在权重链路最小误差定位法和异常链路选取的基础上, 提出多目标定位。

2.1 单目标最小误差定位法

如图 1 设定的坐标系中, 在 Y 轴的左右两边, 有两列平行于 Y 轴的发射器和接收器。同一排的接收器和发射器之间的距离相同, 同一列不同排的接收器或发射器之间的间隔相同。因此将所有发射器、接收器的坐标定义为:

$$TX_i \rightarrow (0, \frac{Wi}{n-1}), i = 0, 1, \dots, n-1 \quad (2)$$

$$RX_i \rightarrow (L, \frac{Wi}{n-1}), i = 0, 1, \dots, n-1 \quad (3)$$

得到异常链路的两端发射器和接收器的坐标分别为 $TX_j(0, \frac{Wj}{n-1})$, $RX_k(L, \frac{Wk}{n-1})$ 。得到异常链路的

表示形式为:

$$\frac{W(j-k)}{n-1}x + Ly = \frac{WLj}{n-1} \quad (4)$$

对于每个目标,当有链路的方差值超过阈值时,用上式表示异常链路。通常情况下,由于目标的体积和运动,目标会影响不止一条链路。 N 条链路的统一表达式为:

$$a_i x + b_i y = c_i, i = 0, 1, \dots, N \quad (5)$$

其中, $a_i = \frac{W(j-k)}{n-1}$, $b_i = L$, $c_i = \frac{WLj}{n-1}$ 。

定义矩阵 A 和矩阵 C :

$$A = \begin{bmatrix} a_0 & b_0 \\ a_1 & b_1 \\ \vdots & \vdots \\ a_i & b_i \\ \vdots & \vdots \\ a_N & b_N \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_i \\ \vdots \\ c_N \end{bmatrix} \quad (7)$$

则式(5)可以表示为:

$$A \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = C \quad (8)$$

目标的坐标可以被预估为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = (A^{-1}A)^T A^{-1}C \quad (9)$$

此坐标为优化定位的基础。由于上式中的结果太过理想化,现实中目标与异常链路之间的距离会对方差值造成很大的影响。因此,文中提出通过距离给异常链路赋予权重的修正方法。

2.2 权重链路最小误差定位法

异常链路的权重是由式(1)中接收信号强度方差值决定的,首先根据接收信号强度方差值给异常链路排序,从大到小排序,序号从1到 N 。例如接收信号强度方差值最大的链路就赋予编号1,第 i 个就赋予编号 i ,然后根据 Sigmoid 函数^[8]赋予权重:

$$w_i = \frac{1}{1 + e^{i-1}} \quad (10)$$

此外,为了提升计算机运算效率,首先通过式(9)中的单目标最小误差定位法得到一个初始位置,然后集中在初始位置附近。通过权重链路最小误差算法可以找到一个最优化坐标,这个坐标到附近的异常链路距离总和最少,这个坐标也是需要定位的坐标。

算法1:权重链路最小误差定位法:

- (1) $(x, y) \leftarrow$ 式(9)中得到的点为圆心半径为0.3 m 内测试所有点。
- (2) $d_i \leftarrow$ 点 (x, y) 距离各个异常链路的距离。
- (3) $w_i \leftarrow$ 根据接收信号强度方差值赋予权重。
- (4) $p \leftarrow w_i d_i^2$ 的累积值。
- (5) 搜寻范围内的每个点,得到所有情况的 p 值。
- (6) 找到最少的 p 值对应的坐标,即为最优坐标。

2.3 区分异常链路

假设两个目标不是聚在一起行动,如图1所示,星星表示需要定位的目标。首先,找出所有的异常链路,然后进行排序。将异常链路区分为两组的方法步骤如下:

首先,选出接收信号强度方差值最大的两条异常链路。情况1:如果有交点,则把它们放入组1。情况2:如果没有交点,则把它们分别放入组1和组2。

情况1:如图2,这种情况下,前两条异常链路都被分在组1。首先,找到这两条异常链路的交点,然后,计算这个交点到其余剩下的异常链路的距离。如果距离小于阈值,则将其放入组1,否则,将其放入组2。

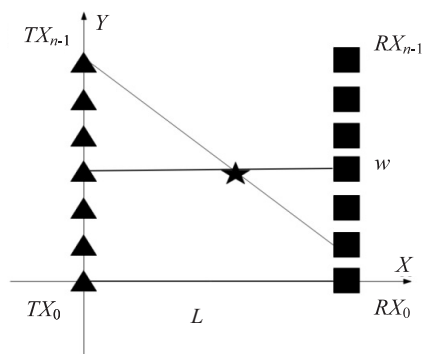


图2 情况1

情况2:组1组2中都有一条异常链路,通过搜寻异常链路方差值排第三的异常链路,决定第三条异常链路该被分到哪一组时,出现了两种可能性:

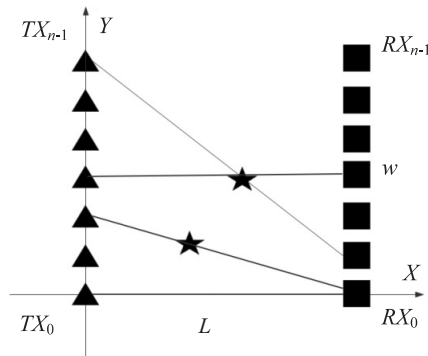


图3 情况2-可能性1

可能性1:如图3,第三条异常链路只与组1或者组2的其中一条有交点,利用这个交点和情况1中的

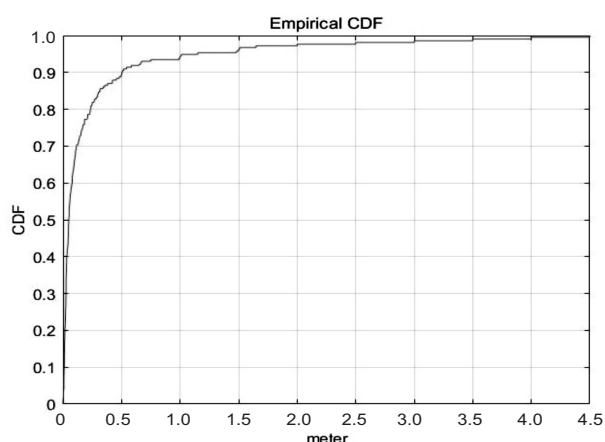


图 8 累积误差分布图

4 结束语

通过无源室内定位去定位分布在室内不同位置的两个目标。在室内的左右两边布置发射器和接收器。然后通过结合最小误差法和权重链路挑选,最终定位目标。通过 MATLAB 仿真,发现定位结果精度比参考文献高出 20%。而且,没有考虑多径效应、杂物以及更多目标对接收信号强度和算法的干扰。在文献[18]中为了提高室内定位系统的性能,提出了一种利用无源 RFID 技术定位目标物体的算法。文中的定位算法只考虑了二维平面,没有探究三维坐标下的定位情况。在之后研究中,将会把 2 维平面升级到 3 维立体空间,继续研究基于 RSSI 的室内定位。

参考文献:

- [1] XIAO J, WU K, YI Y, et al. Pilot: passive device-free indoor localization using channel state information[C]//2013 IEEE 33rd international conference on distributed computing systems. Philadelphia, PA: IEEE, 2013: 236-245.
- [2] KLANN M. Tactical navigation support for firefighters: the LifeNet Ad-Hoc sensor-network and wearable system[J]. Mobile Response, 2009, 52(9): 1546-1554.
- [3] YOUSSEF M. CoSDEO 2016 keynote: a decade later — challenges; device-free passive localization for wireless environments[C]//2016 IEEE international conference on pervasive computing and communication workshops (PerCom Workshops). Sydney, NSW: IEEE, 2016: 1-2.
- [4] ZHANG D, LIU Y, NI L M. Link-centric probabilistic coverage model for transceiver-free object detection in wireless networks[C]//2010 IEEE 30th international conference on distributed computing systems. Genova: IEEE, 2010: 116-125.
- [5] KADKHODA M, MOHAMMAD-R A T, YAGHMAEE M H, et al. A probabilistic fuzzy approach for sensor location estimation in wireless sensor networks[C]//International conference on fuzzy systems. Barcelona: IEEE, 2010: 1-5.
- [6] THONGKAM J, SUPANAKOON P, PROMWONG S. Indoor wireless sensor network localization using RSSI based weighting algorithm method for short range wireless communication[C]//2018 international electrical engineering congress (IEEECON). Krabi, Thailand: [s. n.], 2018: 1-4.
- [7] 秦有宝. 基于接收信号强度测量的无线室内定位技术的研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [8] ZHENG X Y, YANG J, CHEN Y Y, et al. An adaptive framework coping with dynamic target speed for device-free passive localization[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2015, 14(6): 1138-1150.
- [9] SAEED A, KOSBA A E, YOUSSEF M. Ichnaea: a low-overhead robust WLAN device-free passive localization system[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2014, 8(1): 5-15.
- [10] SEIFELDIN M, SAEED A, KOSBA A E, et al. Nuzzer: a large-scale device-free passive localization system for wireless environments[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2013, 12(7): 1321-1334.
- [11] XU C, FIRNER B, ZHANG Y, et al. Improving RF-based device-free passive localization in cluttered indoor environments through probabilistic classification methods[C]//2012 ACM/IEEE 11th international conference on information processing in sensor networks (IPSN). Beijing: IEEE, 2012: 209-220.
- [12] ZHANG D, MA J, CHEN Q, et al. An RF-based system for tracking transceiver-free objects[C]//Fifth annual IEEE international conference on pervasive computing and communications (PerCom'07). White Plains, NY: IEEE, 2007: 135-144.
- [13] ADHIKARY R, DAIGLE J N. RSS based localization in Rayleigh fading environment[C]//2016 IEEE wireless communications and networking conference. Doha: IEEE, 2016: 1-6.
- [14] ULUSKAN S, FILIK T. A survey on the fundamentals of RSS based localization[C]//2016 24th signal processing and communication application conference (SIU). Zonguldak: [s. n.], 2016: 1633-1636.
- [15] SHCHEKOTOV M. Indoor localization methods based on Wi-Fi lateration and signal strength data collection[C]//2015 17th conference of open innovations association (FRUCT). Yaroslavl: [s. n.], 2015: 186-191.
- [16] LI S, HUANG W, WANG D, et al. Two-target device-free passive localization by combining anomaly link selection and weighted-link minimum error localization[C]//2016 IEEE 37th Sarnoff symposium. Newark, NJ: IEEE, 2016: 65-70.
- [17] 张子博. 多源室内定位信息融合技术研究实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018.
- [18] 高锐, 程良伦, 胡莘. 一种基于空间分割的无源 RFID 室内定位方法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(1): 184-186.