

基于概率定位的稀疏无线传感器网络

郭浩¹, 赵晓辉², 张鹏²

(1. 新加坡南洋理工大学, 新加坡 639798; 2. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:节点定位是当前无线传感器网络非常重要的一个课题。针对无线传感器的网络节点定位设备过于复杂,成本较高的问题,提出了基于概率定位的算法。该算法在相邻节点间使用步数器和基于概率的测距定位方法,与当前的多数要求良好网络连通性的方法不同,该方法有效解决了稀疏网络下的节点定位问题。根据所设计的实验模型,用实际结果对该算法进行了验证,该算法在稀疏网络中性能良好,具有实用价值。

关键词:无线传感器网络;概率;测距定位;步数器

中图分类号: TP212.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)01-0026-04

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由部署在监测区域内的大量廉价传感器节点组成,通过无线通信形成的一个自组织的网络系统,目的是协作感知、采集和处理网络覆盖区域中可感知对象的信息,并发送给后方的观察者^[1-2]。WSN面临的一个主要挑战性研究课题是如何确定传感器节点的物理位置,给所有节点装备GPS定位器代价高昂,损耗巨大^[3]。当前常用的定位算法如质心算法、AHLos算法和APIT算法等,都是用来解决不同的问题,适用于不同的应用环境^[4-9]。利用人工神经网络(Artificial Neural Network)和支持向量机(Support Vector Machine)等方法来优化和校正系统模型,也有许多人做了研究^[10-11]。本文对较少依赖GPS的稀疏无线传感器网络的定位进行了讨论^[12]。

1 基于概率的定位算法

为定位传感器节点,基于概率的定位算法(Probability based Localization Algorithm, PLA)使用配置机构DA的测量结果和临近节点基于RSSI的距离估计来构造未知节点的似然函数。该函数表现了未知节点分布的可能位置。这些信息结合起来使用,可以提高位置估计精确度。该方法的细节将在下面部分说明。

1.1 配置似然函数

假设节点*i*配置位置为 Φ_{di} ,它的实际位置 Φ_i 以某种概率存在于 Φ_{di} 附近。根据概率论,实际位置 Φ_i 的似然函数是 Φ_i 条件下 Φ_{di} 的条件概率密度函数。我们将该函数称为未知节点的配置似然函数。也就是

$$L_d(\Phi_i | \Phi_{di}) = P(\Phi_{di} | \Phi_i) \quad (1)$$

1.2 无线测距似然函数

若节点*i*可以接收到已定位节点*j*的信息包,两节点间的距离 d_{ij} 可通过RSSI来估算。我们将估计距离表示为 \hat{d}_{ij} 。借助*j*的估计位置 $\hat{\Phi}_j$ 和 \hat{d}_{ij} ,实际位置 d_i 的似然函数便可近似估计。我们定义这一函数为无线电测距似然函数(Radio Ranging likelihood function, RRLF):

$$L_j(\Phi_i) = P(\hat{d}_{ij} | \delta(\Phi_i | \hat{\Phi}_j)) \quad (2)$$

1.3 总体似然函数

以 J_i 表示所有已定位的节点, D_i 是它们对于未知节点*i*的相应测量距离,由于配置位置和RSSI测量彼此独立,总体似然函数可由所有未知节点*i*的似然函数相乘得到:

收稿日期:2007-10-08

作者简介:郭浩(1984-),男,河南漯河人,博士生,主要从事无线传感器网络系统。E-mail:guohao6@yahoo.com

$$\bar{L}(\Phi_i) = P(\Phi_{d_i}, D_j | \Phi_i) = P(\Phi_{d_i} | \Phi_i) \times \prod_{j \in J_i} P(\hat{d}_{ij} | \delta(\Phi_i | \hat{\Phi}_j)) = L_d(\Phi_i) \times \prod_{j \in J_i} L_{ij}(\Phi_i) \quad (3)$$

1.4 算法评估

为评估该方法的性能,进行了多项仿真试验。如图 1 所示,假设沿着某均一路径配置 30 对节点,传感器节点的通信范围是 20 m,新配置的传感器节点只能同两个配置过的传感器节点通信。步数器误差因子 0.15,距离误差因子 0.1,也就是 $p = 0.15, r = 0.1$ 。图 1 中,·表示传感器节点的实际位置,穿越圆点的折线是配置路径,配置起点为 A 终点为 B,×表示只使用步数器而不使用 RSSI 信息的估计位置,○表示该方法的估计位置。

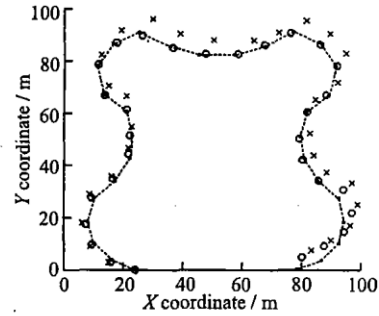


图 1 稀疏网络的定位

Fig. 1 Localization in sparse network

同样的拓扑结构使用 MATLAB 进行了超过 50 次的仿真实验。每次实验中,从第二个传感器节点开始,每个传感器节点都构造自己的总体似然函数,并计算估计位置。测量的移动向量和相邻节点间的距离随机产生。由于每次实验的定位结果都不同,以 50 次实验的平均距离误差来衡量定位结果。只用步数器时,平均距离误差是 4.920 4 m。而使用了 PLA,平均误差是 2.644 9 m,有 50% 的改进。图 2 对每个节点使用步数器和用 PLA 得到的平均定位误差进行了比较。该图表明两种方法都存在传播误差。定位准确性从第一个节点到最后一个节点逐渐降低。PLA 的传播误差由于使用了 RSSI 信息,定位误差相对减少。

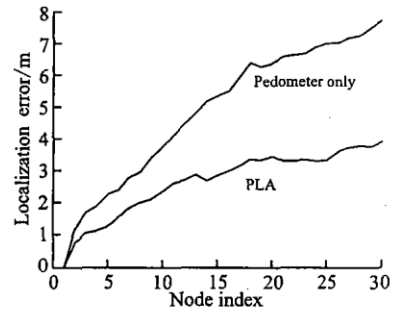


图 2 各节点定位误差

Fig. 2 Localization error for each sensor node

将不同距离误差因子和步数器误差因子下的定位结果进行了比较,见图 3。由图得知若步数器和距离测量的准确性较好,估计位置也会较为准确。当距离误差因子很小时,也就是 RSSI 距离测量相对准确时,PLA 定位比步数器定位的准确度高得多。然而,当距离误差因子大于 0.25 时,因为 RSSI 信息的准确性过低,无法对节点定位进行约束,使得 PLA 几乎没有优势了。

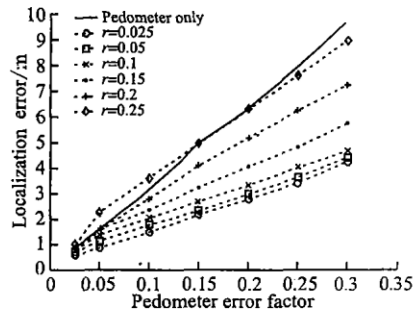


图 3 不同距离因数和步数器因数下的定位误差
Fig. 3 Localization errors under different range and pedometer error factors

2 系统实现与实验评估

利用 Microchip PICDEM ZigBee Demonstration Kit 对传感器网络实验原型进行研究。网络对 MAC 访问使用简单轮流检测。在新传感器节点进入系统后,就与其邻近传感器节点构成网络。以 45 dBm 发送信息包,发送功率在 2.4 GHz 波段。在 ZigBee 板上的 RF 芯片拥有测量 RSSI 的能力。信息包的 RSSI 按照文献 [4],用来估计接收和发送节点间的距离。发送天线为四分之一波长,使用双极型的全方位发射模型。

步数器有一对超声波接收器,用以在行进时测量步长。传感器为空气超声波陶瓷传感,中心频率为 40 kHz。传感范围在 0.2 m - 4 m 间。传感器最低灵敏度为 -65 dB,开放波束宽度为 55°。超声波传感器附于腿的一侧,微控制器每 70 ms 产生 40 kHz 的脉冲信号来触发发送器。信号反射在另一腿上,接收者能够察觉。接收信号的振幅约为 300 mV。它通过安培电路放大 12 倍。一个脉冲整形电路将它转化为以逻辑 0 表示的数字信号,以表示接收到超频率信号。为测量发送时间,微控制器不断计数,以检查超音速信号是否在触发了发送器后到达。一旦发现信号便停止计数。所计数量与超音速信号花费的时间成比例。程序增加一

个计数的时间是 $30.35 \mu\text{s}$ 。于是超音速信号的移动时间为 $t = \text{count} \times 30.35 \mu\text{s}$ 。由于超音速信号在空气中的速度近似为 343 m/s , 距离可计算为: $\text{Distance} = t \times 343 \text{ 00}(\text{cm/s}) / 2 = \text{count} \times 0.5205$ 。

图 4 表示发送的超音速信号的实时跟踪和经过放大与脉冲整形后的接收信号。从图看出, 发送与接收信号间的时间差约为 2 ms 。于是, 本例中的距离就是 34.3 cm 。

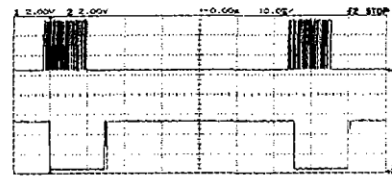


图 4 发送信号与脉冲整形后信号的对比
Fig. 4 Transmitted signal vs. received signal after pulse shaping

实验在有树的露天停车场进行, 范围约 $70 \text{ m} \times 70 \text{ m}$ 。由于传感器节点间没有主要障碍物, 本实验中多路径的影响并不严重。根据测量, RSSI 的估计距离平均误差为 9% , 即距离误差因子是 0.09 。步数器的平均误差为 17% , 即步数器误差因子为 0.17 。实验中, 装备步数器的个人沿着从 A 到 B 的路径对传感器节点逐个配置, 如图 5。配置系统包括 30 个传感器节点, 每个节点的通信距离为 12 m 。该图还说明了定位结果。·, × 和 ○ 分别表示传感器节点的实际位置、只使用步数器的估计位置和 PLA 估计位置。从结果看出, PLA 的平均距离误差是 1.431 m , 而只用步数器的平均误差为 4.583 m 。可见, 该 PLA 算法在减少误差方面性能良好。同样的拓扑结构也使用 MATLAB 进行了超过 50 次的仿真实验。PLA 的平均距离误差是 1.8607 m , 同实验研究的范围一致。

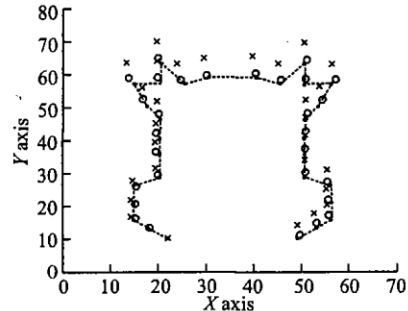


图 5 实验定位结果
Fig. 5 Experimental localization results

表 1 对结果进行了总结, 同时展示了两种方法的最大距离误差。

表 1 步数器与 PLA 的平均实验及仿真误差

Tab. 1 Average and maximum distance errors of pedometer and pla measurements m

实验方法	平均实验误差	平均仿真误差	最大实验误差	最大仿真误差
步数器	4.538	4.247	7.102	6.982
PLA	1.431	1.861	2.456	2.975

图 6 对单一传感器节点使用步数器和 PLA 方法的定位误差进行了比较。结果表明依靠路径的步数器方法在最初的几个新节点配置后, 就产生了较大误差。而 PLA 在每个节点都能减少步数器误差。结论表明配置路径的 2 m 范围内在一定程度上可以控制误差。

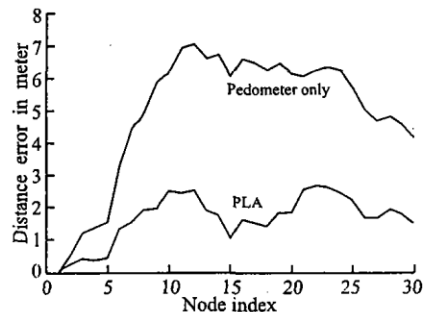


图 6 每个传感器节点的定位误差

Fig. 6 Localization error for each sensor node

本文研究了一种新的定位算法 PLA。系统的配置机构若使用准确性差, 低成本的计数器, 借助配置信息和 RSSI 测距, PLA 通过构造似然函数可定位未知节点。仿真表明, 该算法在稀疏传感器网络中性能良好, 不像大多数已有算法那样要求良好的网络连通性。同时, 该算法不需要使用锚节点来定位。设计了一个使用步数器的系统, 通过实验原型验证, 在室外环境中评估。结果表明该系统工作良好, 与仿真研究一致。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F. Wireless Sensor Networks: a Survey[J]. Computer Networks, 2002, 38:393 - 422.
- [2] Low K S, Win W N N, Er M J. Wireless Sensor Networks for Industrial Environments[J]. Proc Int Conf on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, 2005:271 - 276.
- [3] Sichitiu M L, Ramadurai V. Localization of Wireless Sensor Networks with a Mobile Beacon[J]. Proc Int Conf on Mobile Ad -

- hoc and Sensor Systems, 2004:174 - 183.
- [4] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less Llow Cost Outdoor Llocalization for Vvery Ssmall Ddevices[J]. IEEE Personal Communications Magazine, 2000, 7:28 - 34.
- [5] Hightower J, Boriello G. Location Systems for Ubiquitous Computing[J]. IEEE Computer, 2001, 34:57 - 66.
- [6] Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad-hoc Networks[J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22:267 - 280.
- [7] Niculescu D, Nath B. Ad-hoc Positioning System(APS) Using AoA[J]. IEEE Computer and Communications Societies, 2003: 1734 - 1743.
- [8] Savarese C, Rabaey J, Langendoen K. Robust Positioning Algorithm for Distributed Ad-hoc Wireless Sensor Networks: USENIX technical Annual Conf[C]. Monterey, CA: [s. n.], 2002:317 - 328.
- [9] Shang Y, Ruml W, Zhang Y, et al. Localization from mere connectivity: Proc 4th ACM Int Symp On Mobile Ad-Hoc Networking & computing Annapolis[C]. [S. L.]: ACM press, 2003:201 - 212.
- [10] 白鹏, 张喜斌. 基于支持向量机的压力传感器校正模型[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2007, 8(5):37 - 40. BAI Peng, ZHANG Xibin. A Correction Model of Pressure Sensor Based on Support Vector Machine[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2007, 8(5):37 - 40. (in Chinese)
- [11] 李连, 朱爱红. 无线传感器网络中的定位技术研究[J]. 计算机信息, 2005, 21(25):133 - 135. LI Lian, ZHU Aihong. Research on Localization Technology of Wireless Sensor Networks[J]. Control & Automation, 2005, 21(25):133 - 135. (in Chinese)
- [12] Guo Hao, Low K S, Er M J. Probability Field Localization for Wireless Sensor Network[J]. Proc Industrila Electronics, Control and Instrumentation Conference(IECON'06), 2006:3155 - 3160.

(编辑:姚树峰)

Localization in a Sparse Wireless Sensor Network Using Pedometer and Communication Ranging Measurements

GUO Hao¹, ZHAO Xiao-hui², ZHANG Peng²

(1. Nan Yang Technological University, Singapore; 2. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Localization of sensor nodes is an essential requirement for many wireless sensor network applications. As most sensor positioning equipments are complicated and costs prohibitively high, this paper presents a low cost system based on measurements from a pedometer and communication ranging between neighboring nodes. The information is fused through a probability-based localization algorithm. Unlike most of the existing methods that require good network connectivity, the proposed system works reasonably well in a spare network. An experimental prototype has been developed and the practical results are used to evaluate the system's performance. The results show that the system performs well.

Key words: WSN; probability; ranging localization; pedometer