

一种基于 Zigbee 的混合定位算法^①

贺宝岳^{1,2}, 蒲宝明², 李生金^{1,2}, 王维维^{1,2}

¹(中国科学院研究生院, 北京 100049)

²(中国科学院 沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

摘要: 定位是无线传感器网络研究的一个热门课题。提出一种基于 Zigbee 的混合定位算法, 将 TOA (Time of Arrival) 测距与 DV_distance 定位算法加以融合。TOA 测得相邻节点间距离后, 利用 DV_distance 获得未知节点到锚节点的累加距离并加以修正后对节点定位。其中 TOA 利用 Zigbee 网络中 MAC (medium access control sub-layer) 层协议, 无需增加额外硬件实现精准测距。该混合算法定位精度高, 受网络中锚节点所占比例影响小, 适用于大规模传感器网络定位。

关键词: 定位算法; Zigbee; TOA; DV_distance; 无线传感器网络

Hybrid Localization Algorithm Based on Zigbee

HE Bao-Yue^{1,2}, PU Bao-Ming², LI Sheng-Jin^{1,2}, WANG Wei-Wei^{1,2}

¹(Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

²(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

Abstract: Localization is an emerging subject in the filed of Wireless Sensors Networks(WSNs). This paper describes a hybrid localization approach combining TOA(Time of Arrival) ranging with DV_distance localization algorithm based on Zigbee networks. The main principle of hybrid scheme is using DV_distance to get the culmulative distance with correction, after ranging the neighbor-nodes distance by TOA. The TOA ranging based on MAC-layer protocol of Zigbee can get a perfect result with no additional hardwares. This approach shows perfect precision, less affected by the proportion of anchor nodes, which is quite suitable for localization in large scale WSNs.

Key words: localization algorithm; Zigbee; TOA; DV_distance; wireless sensors networks

近些年来无线传感器网络发展迅猛, 在军事、环境、医疗、家庭及其他商业领域有着广泛的应用, 彻底改变着人们日常生产、生活的方式。位置信息是无线传感器网络提供大部分服务的前提和基础, 随着人们对位置信息的需求日益增多, 无线定位技术成为研究的热点。

在传感器网络中, 一般通过一些已知位置的节点(锚节点)来获得其他未知节点的位置。现有的定位算法主要分两种: 基于测距和非基于测距。基于测距算法中主要的测距方法有 AOA(到达角度)、TOA(到达时间)以及 RSSI(接收信号强度指示)。AOA 和 TOA 虽然测距精度较高但是对硬件的要求也高、能量消耗

大。RSSI 较前两者常用但是由于无线信号受到阴影衰落、障碍物的反射、衍射等影响, 接收的信号强度受到严重污染与理想的计算模型相差甚远, 往往需要现场重新测量校正。常用的非基于测距的定位算法主要有质心法和 DV_hop 算法。这两者无需距离或者角度信息, 仅根据网络连通性等信息实现对节点的定位。非基于测距定位算法在成本、功耗等方面具有优势, 因此备受关注。提高非基于测距定位算法的精度是一个主要的算法改良方向, 常见的方法有加权和多次定位等^[1]。

本文提出一种基于 Zigbee 的混合定位算法。在不增加硬件消耗的情况下, 利用 Zigbee 网络 MAC 层协

① 基金项目:安徽省教育厅自然科学基金(2005KJ004ZD)

收稿时间:2011-05-19;收到修改稿时间:2011-06-16

议实现 TOA 测距，结合改良后的 DV_distance 算法，实现大规模无线传感器网络的精确定位。

1 基于 Zigbee 的 TOA 测距

TOA 根据无线信号的到达时间获得传播时延，从而计算出两个节点间的距离。TOA 测距应用的两个经典的例子是 GPS 定位系统和 UWB 定位系统：在 GPS 定位系统中，引入一个由卫星发送的 GPS 秒脉冲来实现同步^[2]；在 UWB 定位系统中，由于 UWB 信号穿透力强、分辨率高因此采用基于脉冲波峰检测的方法能够精确测距^[3]。TOA 测距精度较高，但是对同步的要求也很高。一种解决方法是测量往返双程距离，但是这样就不得不考虑发送节点和接收节点的本地时延。文献[4]中提出在 MAC 层添加监测软件或者额外引入一个参考节点解决同步问题，这两种方法都非常繁琐且增加了算法的计算量和复杂性。本文结合 Zigbee 网络 MAC 层协议，实现一种简便、精确、无需添加硬件的 TOA 测距。

Zigbee 协议分为四层，其中 IEEE802.15.4-2003 标准定义了底层协议：物理层和媒体访问控制层。在 MAC 层中采用了与 TDMA 机制类似的时槽保障机制，信标帧用来同步时间。在非竞争机制中，将周期 15.36ms 的超帧固定分为 16 个时隙。锚节点在分配的固定保证时隙 (guaranteed timeslots, GTS) 发送帧。网络中的每个节点 (包括锚节点和移动节点) 都有一个本地连续的时间 t_{loc}，相对于当前超帧的时间 Θ 。IEEE802.15.4 协议中每个超帧都由一个信标帧开始，所有的锚节点都精确地与信标帧时间对齐。这个过程是由纯硬件完成与信标的对齐，不需要 CPU 的参与^[5]。

字节: 2	1	4/10	2	K	M	N	2
帧控制	序列号	地址域	超帧描述字段	GTS 分配字段	带转发数据目标地址	信标帧负载	帧校验
MAC 帧头			MAC 数据服务单元				MAC 帧尾

图 1 信标帧结构

当一个未知节点请求定位或者移动节点想重新获得它的定位信息时，就会向它通讯范围内的节点发送

一个数据请求帧。当信标同步完成后，就能提前得知应答帧在下一个可用保证时隙发送的起始时间。因此到锚节点 i 距离就可以根据时延 τ_{Di} 来求得：从时隙的起始位置到帧开始的时间代表单程的时延。信标帧的负载带有锚节点的位置信息，由于信标帧都是在不同时间隙发出的，移动节点根据发送时间的不同来区分锚节点。

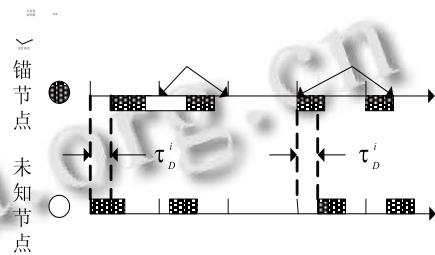


图 2 计算锚节点到未知节点的时延

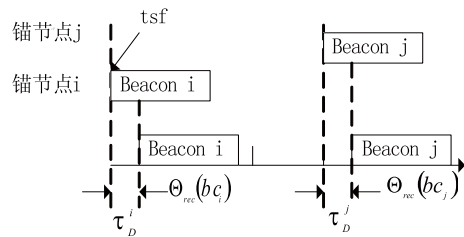


图 3 通过锚节点 i 推算出锚节点 j 的时延

知道未知节点到锚节点 i 的距离，设置一个参考点 tsf，那么可以推出其他锚节点到该移动节点的时延。公式(1)到公式(3)说明由锚节点 i 的到达时间和延时推测出锚节点 j 的时延，其中 t_{rec} 为信标帧到达的本地连续时间， Θ_{rec} 相对于当前超帧的到达时间。公式(2)提供了两个时间的一种转换。

$$tsf = t_{rec}(beacon_i) - \tau_D^i \tag{1}$$

$$\Theta(t_{loc}) = (t_{loc} - tsf) \text{ mod } 15.36ms \tag{2}$$

$$\tau_D^j = \Theta_{rec}(beacon_j) - \Theta_{rec}(beacon_i) + \tau_D^i \tag{3}$$

在 TOA 测量过程中遇到多径或者障碍物的折射、反射等都会对测量结果造成影响。针对这点可以采取判断信号强度的方法：从同一个锚节点发射的信号中选择信号强度最大的信号作为接收信号。在条件允许的情况下，可以通过多次测量来消除信号传播中的噪声^[6]。

2 DV_distance算法

经过 TOA 测距后可以直接通过三边测量法或者极大似然估计等方法进行定位，但是这样做有两个不利的因素：首先对于相距较远的节点信号衰减受干扰的情况较为严重，得到的误差也比较大；其次定位节点只能利用通讯范围内的锚节点。这样在大规模的传感器网络中能耗十分浪费，而且定位的精确度也有待提高。

因此本文引入了 DV_distance^[7]算法，与 DV_hop 类似，只不过节点间传递的不是跳数而是节点间的距离。节点只与在一定通讯范围内的“相邻”节点交换 TOA 测量距离，并将自己其他相邻节点的坐标和距离传给邻居节点，邻居节点在这个基础上加上到该节点的距离就能计算出到其他该节点相邻节点的距离。在距离“累加”的过程中，若是存在到两点间距离较短的路径则替换原来的路径。

针对距离“累加”过程中产生的累积误差，本文引入了一个修正值 corr。假设未知节点 i 有 n 个相邻锚节点，则 corri 的值为

$$corr_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n (d_{i,j} + d_{i,k} - d_{j,k}) / n \quad (4)$$

其中，j、k 均为 i 的相邻锚节点且 j≠k，d_{ij}、d_{ik} 分别为未知节点 i 到锚节点 j、k 的距离，d_{jk} 是根据锚节点 j、k 传送给节点 i 的坐标而计算出来的实际距离。根据上式计算出节点 i 的 corri 值后，在节点定位时节点 i 到锚节点的距离都要加上修正值 corri。

3 仿真结果

在 MATLAB 平台上对各算法进行仿真。100*100 方形区域内，均匀随机分布 100 个节点，其中锚节点所占比例为 0.3，也就是一共有 30 个锚节点和 70 个未知节点。通讯半径 r=20，加入信道干扰后对四种定位算法（质心法、DV_hop、TOA、TOA 测距与 DV_distance 算法混合的定位算法）的仿真结果如图 4，其中蓝色线段代表定位结果与节点实际坐标的距离。

使用相对定位误差衡量定位精度：

$$E_i = \frac{\sqrt{(\hat{x}_i - x_i)^2 + (\hat{y}_i - y_i)^2}}{r} \quad (5)$$

其中，(x̂_i, ŷ_i) 是算法估计得到的未知节点 i 的位置，

(x_i, y_i) 是节点 i 的实际位置，r 是通讯半径。定义网络中 N 个未知节点的定位误差的平均值为平均定位误差：

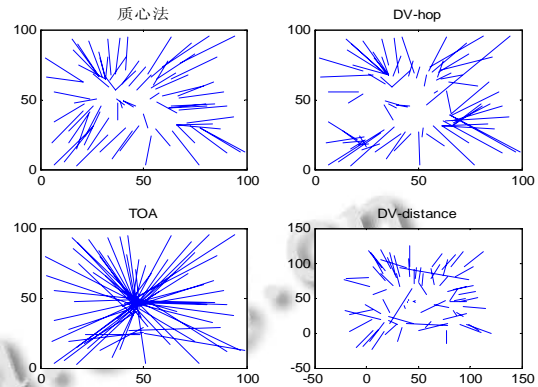


图 4 四种定位算法的仿真结果

$$\bar{E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i \quad (6)$$

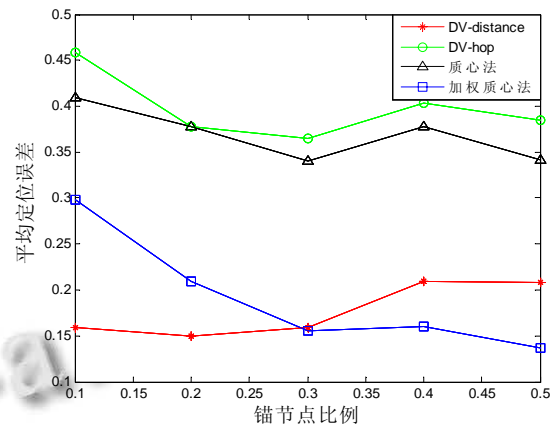


图 5 锚节点所占比例与平均误差关系图

图 4 中质心法的平均定位误差为 0.3406，DV_hop 算法的平均定位误差为 0.3653，纯 TOA 测距定位算法由于加入了信道干扰结果最差大约为 0.6702，而 DV_distance 混合算法的平均误差只有 0.1592。由于 TOA 测距的误差已经超出了可容忍的范围因此一般不直接使用。值得一提的是质心法由于实现简单，使用广泛，通过改良后（比如加权等）得到的精度也十分理想，同等条件加权质心法的精度大概在 0.2 左右。图 5 将 DV_distance、DV_hop、质心法以及加权质心法四种算法，在锚节点所占比例不同的情况下的平均

定位误差一起展示。从图5中我们不难看出，DV_distance混合算法对比单一的DV_hop和质心法，定位精度有着明显的优势；加权质心法测量精度较高但是对锚节点的比例有很大依赖性。同时也清晰的看到，DV_distance混合从DV_hop算法中继承的一项优点：定位的精度不与锚节点所占的比例或者多少有关，而只与网络的连通性有关。这也意味着在相同节点数目的传感器网络中，使用DV_distance混合算法的投入会更低。

4 结论

本文提出了一种基于Zigbee的混合定位算法，也就是基于TOA测距的DV_distance算法：利用MAC层协议实现相邻节点间的TOA测距，在已知邻居节点间距离的基础上进一步使用DV_distance算法进行定位，也就是通过距离矢量的累加测量未知节点到锚节点的距离，同时引入一个修正值corr消除累积误差。该混合算法能够在不增加硬件的情况下实现较为精确的测距，因为只需与一定通讯范围内的相邻节点通讯能耗也相对较低，在节点密度相同的网络中，能利用较少的锚节点实现同等精度的定位，适用于大规模传

感器网络。

参考文献

- 1 王福豹,史龙,认丰原.无线传感器网络中的自身定位系统和算法.软件学报,2005,16(5):857-868.
- 2 徐自励,刘昌忠,黄忠涛,等.基于Kalman滤波的目标信号TOA校正.通讯技术,2010,143(6):194-197.
- 3 李凡.基于超宽带(UWB)技术的测距方法研究.武汉:华中师范大学,2007.
- 4 李靖,张辉耀.对一种基于双重到达时间差的无线定位数据融合方法的探讨.中国无线电,2009,(9):59-61.
- 5 IEEE-TG15.4. Part15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). IEEE Standards for Information Technology, September 2006.
- 6 Burda R, Lewandowski A, Wietfeld C. A Hybrid Indoor Localization Using Beacon Enabled Meshing and TOA in IEEE 802.15.4 Networks. Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE.2008 May 11-14.118-122.
- 7 Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad Hoc Networks. Telecommunication Systems, 2003, 22: 1-4, 267-28.

(上接第60页)

参考文献

- 1 张大勇.雷达/ARPA 仿真图像生成和功能模拟改进.大连:大连海事大学,2003.
- 2 王世远.航海雷达与ARPA.大连:大连海事大学出版社,1998.
- 3 章毓晋.图像工程(中)—图像分析.北京:清华大学出版社,2006
- 4 Yang Y, David Z. A novel line scan clustering algorithm for identifying connected components in digital images. Elsevier Science: Image and Vision Computing, 2003,(21):459-472.
- 5 张修军,郭霞,金心宇.带标记修正的二值图像连通域像素标记算法.中国图象图形学报,2003,8(2):198-202.
- 6 张庆,向健勇,赵小明,孙勃.一种图像分割的快速目标描述方法.红外技术,2004,26(6):83-86.
- 7 徐正光,鲍东来,张利欣.基于递归的二值图像连通域像素标记算法.计算机工程,2006,32(24):186-189.
- 8 陈柏生.一种新的二值图像标记的快速算法.计算机工程与应用,2006,26:46-47.
- 9 徐成,冯斌,刘彦.一种局部纹理特征在区域生长中的作用.计算机应用研究,2009,26(12):4852-4854.