

WSN 中移动信标辅助的加权质心定位算法

鲍金凤, 游晓鹏

(温州大学 物理与电子信息工程学院, 浙江 温州 325035)

摘要:质心算法是一种简单易实现的节点定位方法,但是它的定位精度多依赖于网络中信标节点的密度和分布。针对质心算法这一缺陷,文中提出了一种移动信标节点辅助的加权质心定位算法(MBAWCL)。该算法采用一个飞行的移动信标节点在网络部署区域上空按照设定的路径移动并且周期性地广播自己的位置信息;未知节点对所接收信标信号采取一定的筛选机制存储信标信号,然后利用加权质心(WCL)方法计算自己的位置。实验测试证明该算法可以提高节点的定位精度,降低定位成本,提高定位效率。

关键词:无线传感器网络;飞行移动信标;质心算法;加权质心定位;路径规划

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)10-0027-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.10.007

Mobile Beacon Assisted Weight Centroid Localization Algorithm in WSN

BAO Jin-feng, YOU Xiao-peng

(College of Physics and Electronic Information Engineering, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China)

Abstract: The centroid algorithm is a simple method to achieve node localization, but its localization accuracy depends on the density and distribution of the beacon nodes in network. According to the defect of centroid algorithm, present a Mobile Beacon Assisted Weight Centroid Localization algorithm (MBAWCL). The algorithm adopts a flight mobile beacon node to move over the network deployment area according to destined path and broadcast periodically the messages with its own localization. Unknown node takes a screening mechanism to store the received beacon signal, and then use the method of WCL to calculate its own position according to its stored beacon signal information. The experiments prove that the algorithm can reduce the localization error and cost and improve the efficiency of localization.

Key words: wireless sensor networks; flight mobile beacon; centroid algorithm; WCL; path planning

0 引言

位置信息不仅对于众多上下文相关的无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)应用具有重要的意义^[1],也有助于整个网络的覆盖优化^[2]、拓扑控制^[3]和路由效率^[4]等等。因此,节点定位技术具有重要的意义。

由于传感器网络的特点,通过GPS或人工方式获得节点的位置信息是不可行的。通常,需要通过一些位置已知的信标节点,按照某种定位机制来确定自身的位置。大多数早期的无线传感器网络节点定位算法采用静止的信标节点去估计未知节点的位置,从而信标节点的密度和分布直接影响到节点的可定位性与定位精度。过少的信标节点会造成网络中部分节点不能定位并且可定位节点的定位精度较低,而过多的信标

节点又会造成定位成本的增加。使用一个或少数几个移动信标代替网络中的静止信标对未知节点进行定位一方面可以减少定位成本,另一方面利用信标节点的移动性提高网络中节点的可定位性。

近年来移动信标辅助定位成为无线传感器网络节点定位方法的重要研究方向之一,这类方法利用一个或少数几个信标节点在网络部署区域内移动,同时周期性广播包含信标节点自身位置信息的信标数据包。移动信标通信范围内的未知节点可以接收到信标数据包,并根据节点间的连通信息或者测量信息估计自身的位置。这种定位方法解决了传统静态信标节点定位方法中信标节点的密度与定位精度的矛盾,同时在很大程度上降低了无线传感器网络节点定位的成本。此外,通过对信标节点移动路径的规划实现对网络中未

收稿日期:2013-01-08

修回日期:2013-04-13

网络出版时间:2013-07-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60970118)

作者简介:鲍金凤(1989-),女,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络节点定位算法。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130724.1012.057.html>

知节点的完全定位覆盖,同时辅助未知节点实现更加准确的位置估计。

文中在研究与分析了现有质心算法和移动信标定位方法的基础上,鉴于移动信标在无线传感器网络节点定位中的优势提出了一种移动信标节点辅助的加权质心定位算法(MBAWCL)。该算法在降低无线传感器网络定位的成本和复杂度的同时,采用一种飞行信标并通过对信标节点的移动路径进行合理规划的方式提高了网络中节点定位精度和定位覆盖。

1 问题的提出

质心算法^[5]是由 N. Bulusu 等学者提出的一种基于网络连通性的定位算法。由于传感器节点间的连通性容易受到网络部署和环境的影响,因此该定位算法比较粗糙,定位精度与网络中信标节点的密度、分布有着很大的关系。但是该定位算法的最大优点是不需要额外的硬件、简单易行、计算量小,继而有学者在质心定位算法的基础上进行改进,提出加权质心定位算法^[6]。加权质心算法通过加权因子来限制不同信标节点对未知节点的位置估计的质心坐标的影响。这种改进的算法在一定程度上提高节点的定位精度,由于该算法仍然采用静态部署信标节点的方式对节点进行定位,因而这种算法仍然没有解决由信标节点造成的网络成本与节点定位精度之间的矛盾。

移动信标定位(MBL)方法最早是由 M. L. Sichitu 等学者^[7]提出的节点定位方法,这种方法使用一个或少数几个移动信标代替传统定位方法中的静态信标对节点进行定位,而节点的位置计算采用的是基站集中式计算。虽然该算法不需要节点进行位置计算,但是这种算法大大增加了整个网络的通信开销,造成节点能源在网络通信上的额外消耗。由于节点的自身能源有限,所以节点的能源消耗也是节点定位必须要考虑的问题之一,针对集中式计算的缺点,K. F. Ssu 等^[8]提出了一种分布式计算节点位置的移动信标定位算法。该算法是通过未知节点选择存储与它最大通信距离上的三个或三个以上的信标位置信息,然后以存储的几个信标位置的圆心作为自身位置的估计。这种节点算法比较简单,不需要节点额外的通信开销,但是对移动信标位置的选择存储过程比较繁杂且易产生误差,而信标位置的误差又会对未知节点的位置估计造成较大的误差。

上述两种移动信标定位算法虽然提到需要对信标节点的移动有一定的要求,但是都没对信标节点的移动路径作具体的规划。而在节点部署未知的情况下,信标节点的随机移动不仅会造成定位时间很长,还会使得网络中部分节点不能被覆盖定位,因此在移动信标定位方法中信标节点的移动路径规划是一个重要的

研究问题。文献[9]中详细讨论了移动信标节点移动路径规划的问题,并提出了三种与实际定位方法无关的信标移动路径。另外,有些移动信标定位方法需要特定的移动路径,如 PI (Perpendicular Intersection) 算法^[10]要求移动信标沿三角形移动。

上述提出的移动信标定位方法中信标节点都是装载在地面上可移动的装置上,而在实际应用中节点常常被部署在复杂的各种环境中,如建筑监控、地质灾害监测、环境监测等。装载在地面移动装置上移动信标节点的移动方式和信号传播会受到环境中障碍的影响,这会直接对网络中的节点定位产生较大的定位误差。

2 MBAWCL 算法设计

2.1 飞行信标节点

文中算法采用的移动信标节点是由 Xu 等^[11]研究设计的一种基于四旋翼式微型无人直升机的飞行信标节点,如图 1 所示。该飞行信标节点在低海拔上空中的垂直起降、盘旋能力和低速飞行等性能稳定,并且采用了分级式 GPS/SINS 组合导航系统,可以保证信标节点在飞行过程中位置的动态精度。与地面移动装置搭载的信标节点相比,飞行信标节点在低海拔上空飞行过程中可以提供更有效的虚拟信标信号;减少了环境因素(节点部署的环境障碍)对定位的影响,也显著改善了信标信号的非视距和多路径传播的问题。这样的移动信标节点可以适应更多室外环境中的节点定位的应用。



图 1 四旋翼式飞行信标节点

2.2 信标节点移动路径规划

在移动信标定位算法中信标节点的移动路径规划是非常重要的,因为网络中传感器节点是随机布置的,为了使网络中的节点能够全部且精确地进行定位,同时也要考虑成本、通信开销、定位精度与响应时间等问题,需要为移动信标节点设计一种简单而且适用的移动模型。

文中根据质心算法的计算特点,作者为信标节点设计了一种空中双向扫描直线运动的移动路径,如图

2 所示。

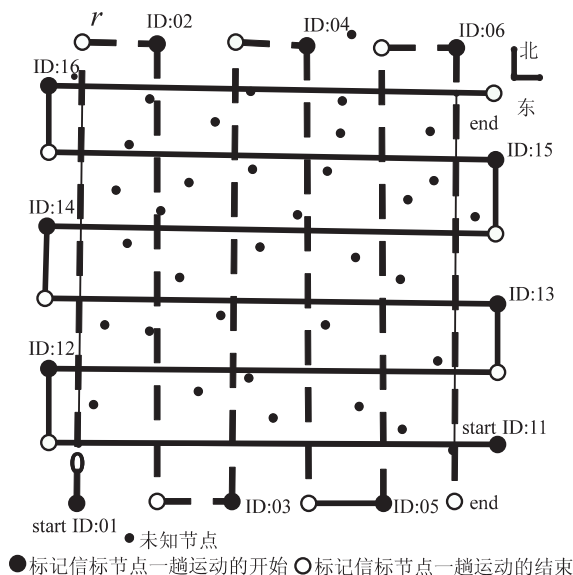


图 2 移动信标节点的移动路径规划

从图 2 可以看出飞行信标节点的移动路径分成两个方向:东西方向(实线轨迹)和南北方向(虚线轨迹),每一个方向上信标节点又分多趟移动并且每一趟之间的距离可以根据需要进行设置。信标节点的每一个方向上每一趟运动轨迹都有一个 ID 标识,ID 标识是由两位数字组成:标志位和数字位。标志位用以区分信标节点的运动方向(1 表示东西方向,0 表示南北方向);数字位表示信标节点在同一方向上的运动的趟数(每一方向上都是从 1 开始计数)。

2.3 MBAWCL 算法的定位过程

飞行信标节点在无线传感网络部署的低海拔上空中低速按照预先设定好的移动路径飞行,并周期性地广播信标信号。信标信号中包含信标节点的运动路径的 ID 标识和位置信息,同时未知节点对接收到的信标信号采取一种筛选机制存储,然后未知节点根据存储的信标信息进行自身位置的计算。

未知节点是根据信标节点距离未知节点越接近,参考信标位置对于未知节点的位置估计就会越准确^[9]的原则进行筛选。因为信标节点是在空中飞行的,传感器节点间的距离可由传播信号的 RSSI 值较准确地反映出来,所以每当信标节点完成一趟运动后,各未知节点就会存储下它接收到的信标信号强度(RSSI)最大的那个信标信号信息,此时可以近似认为未知节点存储的信标信号位置距离未知节点是最近的。根据上述的信标信号的筛选机制,当飞行信标节点完成设定路径的飞行时未知节点会存储四个不同方向上信标信号强度相对(RSSI 值)最大的信标信号的位置坐标(如图 3 所示),并根据这些参考位置信息计算自身的位置。

如图 3 所示,由于信标节点的位置信息是以经度

(lon)和纬度(lat)来标记,所以在未知节点定位过程中未知节点的位置信息也是以经度和纬度进行计算和标记的。又因为该飞行信标节点的每一趟飞行路线都是沿直线飞行(如图 2),所以当信标节点沿南北方向(虚线轨迹)路径飞行时信标节点的位置信息中经度几乎没有变化只有纬度在变化;同理当信标节点沿东西方向(实线轨迹)路径飞行时信标节点的位置信息中只有经度在变化。因此作者在对未知节点的位置计算时没用直接采用传统加权质心算法进行计算,而是根据信标信号的位置信息变化的特点提出了一种简化的加权质心的计算方法。

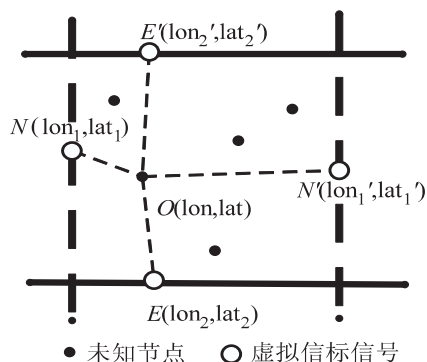


图 3 未知节点存储的信标信号位置坐标

式(1)是具体计算方法,未知节点的经度和纬度的位置信息分别进行计算,并且式(1)中涉及到的坐标参量是以图 3 中的信标信号位置坐标为例的。

$$\text{lon} = \frac{w_{ON} \text{lon}_1 + w_{ON'} \text{lon}_1' + \text{lon}_2 + \text{lon}_2'}{w_{ON} + w_{ON'} + 2} \quad (1)$$

$$\text{lat} = \frac{w_{OE} \text{lat}_2 + w_{OE'} \text{lat}_2' + \text{lat}_1 + \text{lat}_1'}{w_{OE} + w_{OE'} + 2}$$

其中,加权因子 w 采用文献[6]提出的加权因子,即根据信标信号相对位置节点的距离来量化各个信标信号对未知节点位置估计的影响。

未知节点到信标信号的距离可由接收到的信标信号的 RSSI 值计算得到,所以信标信号 i 相对未知节点 j 加权因子可表示为:

$$w_{ij} = \frac{1}{(d_{ij})^2} \quad (2)$$

2.4 算法流程

该定位算法的流程图如图 4 所示。其中,变量 count 表示未知节点当前可存储信标信号的个数。

3 实验与分析

为了验证 MBAWCL 定位算法在实际应用中的节点定位精度,作者在学校足球场上的一块 50 m×50 m 的区域上布置了 7 个节点进行实验测试。未知节点的通信半径为 20 m,飞行信标节点的通信半径为 50 m,信标节点的飞行轨迹如图 2 所示,分两次飞行完成一

次定位。飞行信标节点的移动速度为 2 m/s,飞行高度可自行设置。

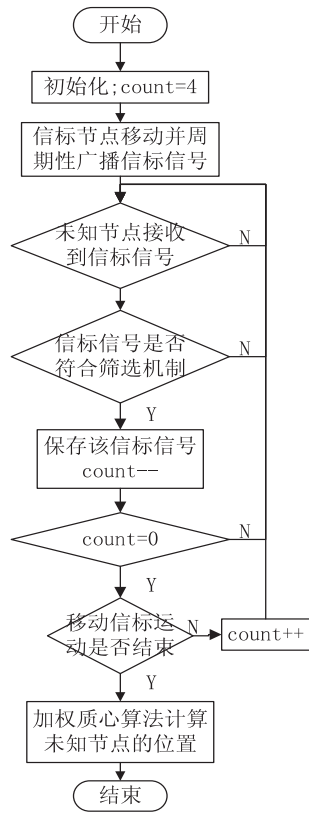


图 4 算法流程图

由于该定位算法中未知节点的位置计算方法采用的是一种简化的加权质心算法,其中加权因子 w 是以未知节点到信标信号位置的距离作为参考的;而飞行信标节点在低海拔空中的飞行高度直接影响着信标信号位置与未知节点的距离计算。因此,该实验是根据飞行信标节点在不同高度的低海拔空中进行多次飞行测试的,实验测试结果及分析如图 5 所示。

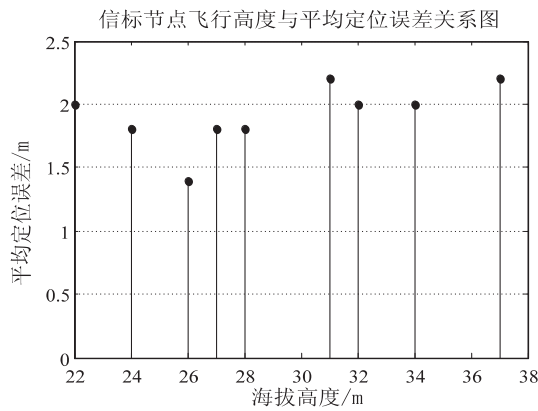


图 5 飞行信标节点在不同海拔高度的平均定位误差

由图 5 可知 MBAWCL 算法中飞行信标节点在不同海拔高度上多次飞行定位的实验结果相对来说是比较稳定的,平均定位误差在 1.4 m~2.2 m 之间。信标节点的飞行高度对节点的定位精度影响不是很大,因此该算法适用于解决大多数室外无线传感器网络应用

中的节点定位问题。

图 6 为单个未知节点经多次定位测试的平均定位误差图。

实验中的单个节点平均定位误差是通过 9 次实验取平均值计算的,从图 6 中可以看出由 MBAWCL 算法定位的单个节点平均定位误差在 1.5 m~2.2 m 之间。所以 MBAWCL 定位算法的定位误差较低并且保持着比较稳定的定位精度。

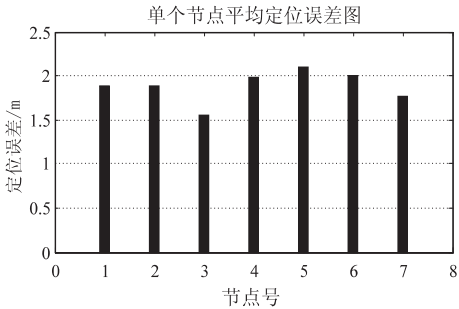


图 6 单个节点定位误差

4 结束语

文中提出的 MBAWCL 定位算法是通过引入飞行的移动信标节点,并对其进行合理的路径规划的方法,降低信标节点的密度和位置分布对节点定位精度的影响。同时采用一种改进的加权计算方法对未知节点进行位置估计,计算复杂度相对较低,算法定位精度高。由实验结果可以看到,MBAWCL 的定位效果是比较稳定的,节点能够得到一个较高的定位精度,并且降低了定位成本,提高了定位效率。由于文中提出的定位算法在试验性阶段,只采用了较少数目的传感器节点在单一环境中进行测试,因此对该算法的性能评价具有一定的局限性。接下来工作是将该定位算法应用到多种环境的大规模无线传感器网络中进行实验测试,并对其进一步改进。

参考文献:

[1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. A survey on sensor networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-114.

[2] Mao G, Baris F, Anderson B D O. Wireless sensor network localization techniques [J]. Computer Network, 2007, 51(10): 2529-2553.

[3] Shen X, Wang Z, Jiang P, et al. Connectivity and RSSI based localization scheme for wireless sensor networks [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3645(2): 578-587.

[4] Mauve M, Widmer A, Hartenstein H. A survey on position-based routing in mobile ad hoc networks [J]. IEEE Network, 2001, 15(6): 30-39.

合通信函数的调用次数占有 MPI 通信函数调用次数的百分比,发现集合通信函数动态使用的比例越大优化映射效果就越好。

表 1 NPB 映射效果

程序 名称	默认映射	传统映射		优化映射	
	时间/s	时间/s	加速比	时间/s	加速比
bt. C. 64	77.08	75.48	1.02	73.03	1.06
cg. C. 64	49.66	46.39	1.07	45.29	1.10
ep. C. 64	9.76	9.66	1.01	9.46	1.03
ft. C. 64	78.36	76.01	1.03	75.84	1.03
is. C. 64	7.56	7.41	1.02	7.39	1.02
lu. C. 64	52.25	46.95	1.11	46.01	1.14
mg. C. 64	8.03	7.41	1.08	6.68	1.20
sp. C. 64	109.23	100.86	1.08	96.84	1.13

4 结束语

文中提出了一套获取针对集合通信的剖析算法,这套算法是根据集合通信函数的实现细节而设计的,通过这套算法能够获取集合通信的通信矩阵。文中通过在 MPI 源码库中加入的探针代码获取的数据证明了剖析算法的正确性。然后通过映射实验证明了剖析算法在实际应用中的有效性。映射实验分为两类:微基准测试和复杂应用测试。映射试验结果表明集合通信的剖析算法对于映射效果的提高作用显著。此外,并行程序中集合通信函数所使用的比例越高,考虑了集合通信的映射效果就越好。

参考文献:

[1] 李 明,张玉敏,SMP 系统上两种并行机制的比较[J]. 计算机工程与科学,1996,18(3):9-15.

[2] Rashti M J,Green J,Balaji P,et al. Multi-core and network aware MPI topology functions [C]//Proceedings of the 18th

+++++

[5] Bulusu N,Heidemann J,Estrin D. GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices[J]. IEEE Personal Communications,2000,7(5):28-34.

[6] Blumenthal J,Grossmann R,Golatoshi F,et al. Weighted centroid localization in Zigbee-based sensor networks [C]//Proc of IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing. Alcala de Henares:IEEE,2007:1-6.

[7] Sichert M L,Ramadurai V. Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon [C]//Proceedings of IEEE MASS. Philadelphia,PA:[s. n.],2004:174-183.

[8] Ssu K F,Ou C H,Jiau H C. Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on

European MPI Users' Group Conference on Recent Advances in the Message Passing Interface. Heidelberg:[s. n.],2011:50-60.

[3] Jeannot E,Mercier G. Near-optimal placement of MPI processes on hierarchical NUMA architectures [C]//Proceedings of the 16th International Euro-Par Conference on Parallel Processing. Heidelberg:[s. n.],2010:199-210.

[4] 卢兴敬,商 磊,陈 莉. POM:一个 MPI 程序的进程优化映射工具[J]. 计算机工程与科学,2009,31(A1):201-205.

[5] Xu Q,Subhlok J,Zheng R,et al. Logicalization of communication traces from parallel execution [C]//Proc of IEEE International Symposium on Workload Characterization. Houston:[s. n.],2009:34-43.

[6] Mercier G,Clet-Ortega J. Towards an efficient process placement policy for MPI applications in multicore environments [C]//Proceedings of the 16th European PVM/MPI Users' Group Meeting on Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface. Heidelberg:[s. n.],2009:104-115.

[7] Gropp W,Lusk E,Doss N,et al. A high-performance, portable implementation of the MPI message passing interface standard [J]. Parallel Computing,1996,22(6):789-828.

[8] Ashton D,Gropp W,Thakur R,et al. The CH3 design for a simple implementation of ADI-3 for MPICH with a TCP-based implementation [R/OL]. 2003. <http://phase.hpcc.jp/mirrors/mpi/mpich2/docs/tcpadi3.pdf>.

[9] 孙亦嘉,张 岳,陈 渝. 基于 VIA 的 MPICH2 研究与实现 [J]. 计算机工程与应用,2005,41(1):98-101.

[10] Thakur R,Gropp W D. Improving the performance of collective operations in MPICH [M]//Recent Advances in Parallel Virtual Machine and Message Passing Interface. Heidelberg:[s. n.],2003:257-267.

+++++

Vehicular Technology,2005,54(3):1187-1197.

[9] Koutsonikolas D,Das S M,Hu Y C. Path planning of mobile landmarks for localization in wireless sensor networks [J]. Computer Communications,2007,30(13):2577-2592.

[10] Guo Z,Guo Y,Hong F,et al. Perpendicular intersection:locating wireless sensors with mobile beacon [J]. IEEE Trans on Vehicular Technology,2010,59(7):3501-3509.

[11] Xu Y,Tong C. Design and attitude control of a flying anchor node [C]//Proc of 2011 International Conference on Electronics,Communications and Control. Zhejiang:IEEE,2011:1975-1978.

(上接第 30 页)

WSN中移动信标辅助的加权质心定位算法

作者：[鲍金凤](#)，[游晓鹏](#)，[BAO Jin-feng](#)，[YOU Xiao-peng](#)
作者单位：[温州大学 物理与电子信息工程学院, 浙江 温州, 325035](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013(10)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201310007.aspx