

基于分簇多节点协作规划的无线传感器网络定位算法^①

陈 画

(浙江长征职业技术学院 计算机与信息技术系, 杭州 310023)

摘 要: 为了提升无线传感器网络的定位精度, 减少网络在进行定位运算时节点能量消耗过大等问题, 提出一种基于分簇的多节点协作规划的无线传感器网络定位算法, 该算法先通过将网络形成多个分簇, 计算簇内节点间的相对距离, 再通过协作规划的方法来提升节点坐标定位的准确度. 得到簇内节点相对簇头的位置坐标后, 再求出簇头相对于汇聚节点的位置坐标, 从而实现在网络中对任意节点的精确定位. 实验仿真结果表明, 与基于加权质心和参考节点序列的定位算法相比, 基于分簇的多节点协作规划的定位算法可以得到更好的定位精度.

关键词: 无线传感器网络; 定位算法; 网络分簇; 协作规划

Data Collection Protocols of Multi-Node Cooperative Planning in Wireless Sensor Networks

CHEN Hua

(Department of Computer and Information Technology, Zhejiang Changzheng Vocational & Technical College, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to improve the positioning accuracy of wireless sensor networks, reducing network node energy consumption during positioning operation, a clustering-based wireless sensor network localization algorithm of multi-node Collaborative planning is proposed. The algorithm first made the network to be multiple clusters, then it calculated the relative distance between cluster nodes, to improve the accuracy of the positioning coordinates of nodes through collaborative planning approach. After getting the position coordinates of the node relative cluster head within the cluster, then it calculated position coordinates of the cluster head relative to the sink node, in order to achieve precise positioning of any node in the network. Simulation results show that the positioning algorithm of the weighted centroid-based and the reference node sequence, a clustering-based localization algorithm of multi-node Collaborative planning can get better positioning accuracy.

Key words: wireless sensor networks; positioning algorithm; network clustering; collaborative planning

无线传感器网络(wireless sensor networks)是由大量具有数据采集能力的传感器节点通过实地部署而形成的一种自组织网络, 通过传感器节点之间的协作感知、数据交换来监测部署区域内的对象信息, 并向基站传输收集到的数据^[1,2]. 无线传感器网络已经广泛用于环境监测、资源开采、军事侦察、目标追踪、工业生产和救灾抢险等多个领域. 其中, 在对目标追踪的研究上, 主要是根据未知节点的数据采集和数据交换信息, 锚节点协同定位自己的位置, 最终通过设计的定位算法来精确地计算出未知节点的具体位置坐标^[3,4]. 通过无线传感器网络来对目标进行定位的方法, 在导

弹导航、探险探测、追踪罪犯等方面都具有重要的意义.

在对无线传感器网络定位算法的研究上, 何风行等人^[5]提出一种基于压缩感知的多目标定位算法, 该算法利用一种基于网格的定位问题, 并结合多分辨率分析的理念, 设计了一种迭代回溯的压缩感知方法. 算法在提高定位精度的同时, 通过减少数据量来延长网络的生命周期. 刘瑜等人^[6]提出一种分簇定位算法, 该算法可以适用于在较大规模的无线传感器网络中对目标进行精确定位. 通过线性规划法和节点间的连通性来实现对簇内节点的测距和定位, 并通过结合分布

^① 收稿时间:2014-01-26;收到修改稿时间:2014-03-24

式粒子滤波算法来提升定位精度. Kiran Yedavalli 等人^[7]提出一采用位置序列来进行目标定位的方法, 通过 RSS 测量锚节点与传感器节点的距离, 来得到锚节点与传感器节点的位置序列, 虽然采用 RSS 来估算节点的间距能使得定位精度较高, 但硬件成本较大. Blumenthal Jan 等人^[8]提出一种采用加权质心的无线传感器网络定位算法, 通过研究 RSSI 测距方法在无线传感器网络的定位上具有的局限性, 计算未知节点与锚节点形成的三角形区域的质心, 并通过加权的方法来提高距离测量的精确度, 算法应用到了 zigbee 网络的定位上并得到了较好的效果. 刘影等人^[9]通过考虑锚节点不足时会对未知节点的定位精度造成影响, 提出一种基于参考点序列的定位算法, 算法通过 voronoi 图原理和来增加锚节点信息, 通过质心算法来求出未知节点的位置信息. 詹杰等人^[10]针对如何在无线传感器网络中安全地获取节点的位置信息, 提出一种 DPC 安全定位算法, 该算法基于 RSSI 测距, 通过一致性原理来排除威胁节点安全的隐患节点, 使安全的节点能够参与到定位算法的运算中去.

本文通过将网络划分为多个簇的方法可以减少节点的计算负担, 而且簇头的选举考虑了节点的连接性和剩余能量. 运用基于分簇多节点协作规划定位算法, 较准确地计算出节点坐标, 这样不仅提高传感器网络节点的定位精度, 在一定程度上也减少了网络的能量损耗.

1 网络模型及预备知识

定义一个无向图 $G = (V, E)$ 来表示无线传感器网络, 其中 $V_i \in V$ 表示节点, 下标表示节点唯一的标识 ID, $E_{ij} \in E$ 表示节点之间的距离, 下标 ij 表示节点 i 到节点 j . 将处在多个分簇之中的节点称之为中间节点, 在某节点覆盖半径内的其他节点称为该节点的邻居节点. 分簇无线传感器网络使得网络具有了更好的可扩展性能, 簇头收集其簇内的其他节点的数据, 进行融合处理后, 再通过与其他簇头通信将数据转发到汇聚节点^[11,12]. 在许多分簇定位算法中, 通过将无线传感器网络划分为多个子图, 再对每个子图里面的节点进行分布式定位, 分簇定位算法不仅可以降低计算复杂度, 也可以降低网络通信量. 但分簇定位算法也存在一些局限性, 例如簇头不仅要处理簇内节点收集到的信息, 而且由于分簇算法是采用簇内集中

式的方法来进行计算簇内节点的距离信息, 因此在进行分簇定位时簇头所承受的信息存储量和计算量都比较大, 消耗的能量也较多, 这无疑会给簇头带来更大的能量负担^[13,14]. 针对这个问题, 本文的提出的基于分簇的多节点协作感知的定位方法, 通过簇内邻居节点间进行距离的协作计算来分担簇头的计算负担, 并在进行定位运算的同时也考虑了节点剩余能量的大小情况.

定义一个簇内某一节点 V_i 的邻居节点数为 $G(V_i)$, 该簇共有节点数为 n , 则评价该簇内的节点 V_i 与其他邻居节点之间的平均连接性能的度量值(下面简称连接度)为:

$$f(V_i) = \frac{\sum_{i=1}^n G(V_i)}{n} \quad (1)$$

在进行簇头选举时, 除了要求簇头与其他邻居节点之间有较好的连接度外, 还需要考虑簇头的剩余能量情况, 因此我们也把剩余能量也作为簇头选举的影响因素.

定义一个簇内某一节点 V_i 选票值为 $vote(V_i)$, 节点 V_i 的剩余能量为 $E(V_i)$, 初始能量为 E_S , 簇内节点的最好平均连接度为 $f(\max)$, 则可以得到 $vote(V_i)$ 为:

$$vote(V_i) = \alpha \frac{f(V_i)}{f(\max)} + \beta \frac{E(V_i)}{E_S} \quad (2)$$

其中 α 和 β 分别表示连接度和剩余能量的影响系数.

2 多节点协作规划的定位算法

2.1 分簇算法

在网络中的多个簇内, 节点通过选票值 $vote(V_i)$ 竞选簇头, 每个节点都能寻找到与其临近的簇头, 当两个簇内存在中间节点, 则该中间节点晋升为新的簇头, 形成新的簇. 考虑到簇头需要承担较大的计算量, 为了减少簇头的能量消耗, 簇内的节点数目不能太多, 因此簇头 V_i 通过式(3)来计算竞争半径:

$$R(V_i) = \left(\sigma \frac{R_i}{R_{\max} - R_{\min}} + \beta \frac{E(V_i)}{E_S} \right) R \quad (3)$$

其中 $R(V_i)$ 表示簇头 V_i 的竞争半径, R_{\max} 、 R_{\min} 分别表示网络中节点距离汇聚节点的最远、最近距离, σ 表示距离的影响系数, β 表示剩余能量的影响系数, 且 $0 < \sigma + \beta < 1$.

网络形成簇并有相应的簇头之后, 在进行定位运算时网络的拓扑结构不发生变化, 在定位的过程中若网络有新的节点加入, 则新节点寻找附近的簇首加入簇中, 当满足竞选条件时新节点也可以自己当选簇头. 若网络中已有的节点出现消亡, 则需要在该簇内重新进行定位运算.

2.2 计算簇内节点距离

在具有监测的无线传感器网络内, 任意选取一个节点, 利用接收信号强度 RSS (Received signal strength)随着传输距离的增大而出现相应衰减的关系来估算节点间的距离, 假设初始信号强度为 RSS_0 , 参考距离为 d_1 , 在传输了 d_1 距离后的 RSS 为 $RSS(d_1)$, 假设需要计算节点 V_i 到节点 V_j 的距离 d_{ij} , 已知从节点 V_i 发送到节点 V_j 接收时的信号强度为, $RSS(d_{ij})$ 则:

$$RSS(d_{ij}) = \frac{RSS_0 - RSS(d_1)}{d_1} \cdot 10 \log \frac{RSS_0 - RSS(d_{ij})}{RSS_0 - RSS(d_1)} \cdot d_{ij} \quad (4)$$

通过式子(4)可以求得 d_{ij} .

2.3 协作规划的定位方法

假设在网络中只有汇聚节点的位置坐标可知, 其他节点的位置坐标不可知. 在文中先通过进行簇内节点的相对定位, 再结合簇头与已知的汇聚节点位置的联系, 实现网络中任意节点的精确定位. 在簇内以簇头作为原点, 建立一个直角坐标系, 通过公式(4)计算节点 V_i 、 V_j 与簇头的距离可以得到簇内节点 V_i 的坐标为 (x_i, y_i) , 节点 V_j 的坐标为 (x_j, y_j) , 为了提高坐标估计的精确度, 采用协作规划的方法, 引入加权质心和规划约束来实现坐标估计的精确性. 假设节点 V_i 、 V_j 之间的估计距离为 d'_{ij} , 实际距离为:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (5)$$

则簇内的节点定位可以转换为规划问题:

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{ij} \leq d'_{ij} \quad i, j \in (1, \dots, n) \\ \min \left| \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \sum_{j=1}^{n-1} x_j / d_{ij}}{x_i / d_{ij}}, \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \sum_{j=1}^{n-1} y_j / d_{ij}}{x_i / d_{ij}} \right| \end{array} \right. \quad (6)$$

得到簇内节点相对于簇头的坐标后, 再利用相同的方法计算簇头到汇聚节点的距离, 在已知汇聚节点坐标的情况下, 就可以通过簇头与汇聚节点的相对距

离得到簇头的坐标, 进而可以得到簇内节点在整个网络内的实际位置坐标, 从而实现节点定位.

3 实验结果及分析

对本文提出的基于分簇的多节点协作规划的定位算法是在 Matlab 中进行的实验仿真, 定位区域设定为 $100m \times 100m$ 一个的正方形区域, 仿真参数表 1 所示, 对同一个节点的定位进行多次的仿真运算, 最后的定位数据取多次仿真的平均结果, 汇聚节点的坐标位置可知, 其他节点随机分布, 汇聚节点位于正方形区域的中心. 实验的对比组算法为文献[8]的加权质心的无线传感器网络定位算法和文献[9]的基于参考节点序列的节点定位算法, 仿真条件与本文的定位算法相同.

表 1 仿真参数

传感器数目	N	100
仿真次数	M	20
节点初始能量	E_s	4J
节点覆盖半径	R	25m

图 1 表示算法的节点定位误差, 精确到 m, 从图中可以看出, 随着节点数目的增大, 节点定位的精确度越来越高, 并且本文的定位算法的精确度都高于文献 [8]和文献[9]的定位算法, 在节点数目为 100 时, 本文的定位精度为 1.2m, 文献[8]算法为 1.4m, 文献[9]算法为 1.57m. 在节点数目为 400 时, 本文算法的定位精度为 0.52, 精度相比节点数目为 100 时提高了 0.68, 文献 [8]算法为 0.73, 精度提高了 0.67, 文献[9]算法为 0.75, 精度提高了 0.82.

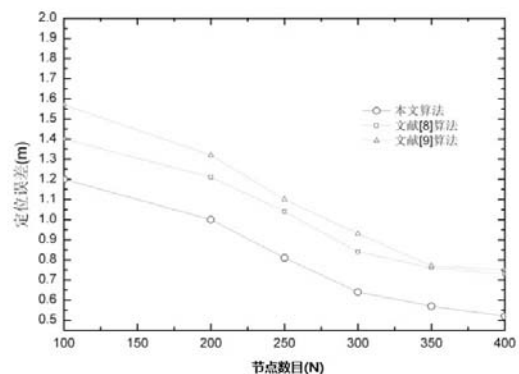


图 1 节点定位误差

定义一个节点定位失误差率, 即在 20 次仿真内, 算法运算得到的节点位置与实际位置误差超过 1m 时的

次数,与仿真总次数的比值.图2得到了在节点数目逐渐增大时,三种算法的定位失误率的大小情况.从图中可以看出,随着节点数目的增大,算法的节点定位失误率逐渐降低,其中,本文提出的基于分簇的多节点协作规划的定位算法的定位失误率最低,在节点数目为100时失误率为28%,文献[8]算法为43%,文献[9]算法为40%.相比之下,本文算法分别比文献[8]算法、文献[9]算法降低了15%和12%.

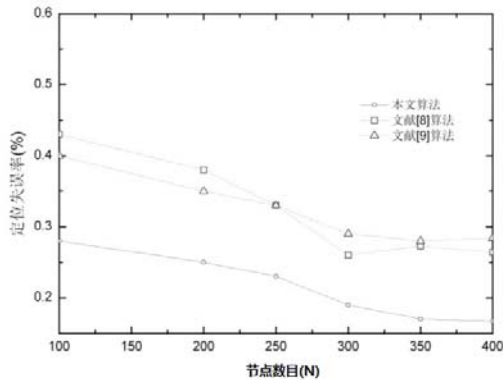


图2 节点定位失误率

图3表示随着节点数目增大时,节点的平均剩余能量情况,从图中的实验结果,可以得出随着节点数目的增加,节点的平均剩余能量也开始增大,这是因为节点数目增多时,网络的计算量和能量损耗可以让更多的节点来分担,而且采用分簇算法可以使节点的能量负载均衡.从节点平均剩余能量情况来看,本文算法在节省网络能耗上相比文献[8]、文献[9]具有更好的效果,可以有效延长网络的生命周期.

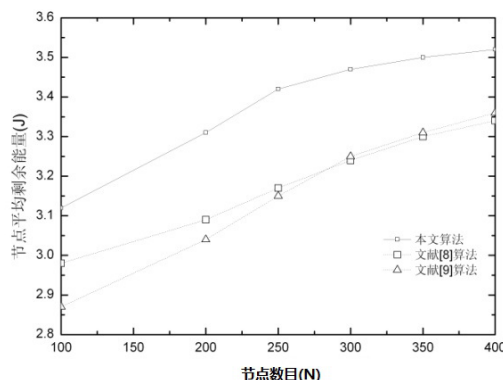


图3 节点平均剩余能量

4 结论

本文所研究的算法主要有分簇算法、簇内节点距离计算、协作规划定位三个步骤,对网络分簇可以减少节点的计算负担,均衡节点的能量负载,簇内节点距离的计算是基于接收信号强度随着传输距离的增大

而出现相应衰减的关系来估算节点间的距离,协作规划定位则是通过规划约束的方法来提高坐标计算的精确度.在实验中,通过与对比组算法在相同条件下进行仿真和结果比较,表明本文的算法在定位精度以及减少能量消耗上具有更大的优势.

参考文献

- 詹杰,刘宏立,刘大为,等.无线传感器网络中 DPC 安全定位算法研究.通信学报,2011,32(12):8-17.
- Martusevicius V, Kazanavicius E. Self-localization system for wireless sensor network. Elektronika Ir Elektrotechnika, 2010, 16(10): 17-20.
- Feng WJ, Bi XW, Jiang R. A novel adaptive cooperative location algorithm for wireless sensor networks. International Journal of Automation and Computing, 2012, 9(5): 539-544.
- Lin C, Xiong N, Park JH, et al. Dynamic power management in new architecture of wireless sensor networks. International Journal of Communication Systems, 2009, 22(6): 671-693.
- 何风行,余志军,刘海涛.基于压缩感知的无线传感器网络多目标定位算法.电子与信息学报,2012,34(3):716-721.
- 刘瑜,衣晓,何友.高密度无线传感器网络分簇定位算法.系统工程与电子技术,2012,34(8):1581-1586.
- Yedavalli K, Krishnamachari B. Sequence-based localization in wireless sensor networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7(1): 81-94.
- 苗勇,崔莉.一种低计算复杂度的无线传感器网络分簇定位算法.高技术通讯,2009,4:348-355.
- 刘影,钱志鸿,孙大洋.基于参考点序列的无线传感器网络节点定位算法.吉林大学学报(工学版),2012,42(2): 489-493.
- 詹杰,刘宏立,刘大为,等.无线传感器网络中 DPC 安全定位算法研究.通信学报,2011,32(12):8-17.
- Karaboga D, Okdem S, Ozturk C. Cluster based wireless sensor network routing using artificial bee colony algorithm. Wireless Networks, 2012, 18(7): 847-860.
- Wang A, Yang D, Sun D. A clustering algorithm based on energy information and cluster heads expectation for wireless sensor networks. Computers & Electrical Engineering, 2012, 38(3): 662-671.
- Okdem S, Ozturk C, Karaboga D. A comparative study on Differential Evolution based routing implementations for wireless sensor networks. Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2012 International Symposium on. IEEE. 2012. 1-5.
- Murthy JK, Kumar S, Srinivas A. Energy efficient scheduling in cross layer optimized clustered wireless sensor networks. Int'l Journal of Computer Science and Communication, 2012, 3(1): 149-153.