

一种新的无线传感器网络定位算法研究

范 敏, 胡 伟

(绵阳师范学院, 四川 绵阳 621000)

摘 要: 针对传统无线传感器网络定位算法平均误差大、节点能耗过高、定位精度不够理想等缺陷, 提出了一种新的无线传感器网络定位算法 IMDV-Hop. 该算法引进了局部跳数 S_i 和修正因子 $\bar{\delta}_i$, 用修正因子 $\bar{\delta}_i$ 对局部跳数进行修正, 使得待定位节点到锚节点的平均跳数更加符合实际情况; 通过权衡定位精度和能耗, 分三种情况计算了平均每跳间距, 使得平均每跳间距更接近于真实值. 仿真实验结果表明 IMDV-Hop 算法平均定位误差低, 具有较小的通信开销, 在非规则网络中可达到较好的定位精度.

关键词: 定位算法; DV-Hop; 平均跳距; 无线传感器网络

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)02-0138-04

Research of a New Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks

FAN Min, HU Wei

(Mianyang Normal University, Mianyang 621000, China)

Abstract: The traditional wireless sensor network localization algorithm average error is large, energy consumption is too high and positioning accuracy is not ideal, a new localization algorithm for wireless sensor networks IMDV-Hop. The local hops S_i and correction factor $\bar{\delta}_i$ are introduced into the algorithm, with the correction factor for local hops amendment to the positioning node to the anchor node to be the average number of hops is more realistic; by weighing accuracy and energy consumption, we calculate the average per-hop distance for three cases, making the average distance per hop is closer to the true value. Simulation results show that the IMDV-Hop algorithm average positioning error is smaller and it has less communication overhead and it could achieve better accuracy in the irregular network.

Key words: location algorithm; DV-Hop; average hop distance; wireless sensor networks

1 引言

无线传感器网络作为当前信息技术领域的一项重要重要前沿技术, 其应用和发展前景被普遍看好. 无线传感网是由部署在监测区域内大量的廉价微型并装备有低能耗收发器和有限数据处理能力的传感器节点通过无线通信方式形成的一个多跳自组织网络^[1-2], 其中节点定位对无线传感器网络具有非常重要的意义^[3], 是无线传感器网络的关键技术之一. 无

线传感器网络节点所感应的数据要结合具体位置才有意义, 所以无线传感器网络定位技术的研究意义重大.

2 相关工作

目前按照是否需要测距可将无线传感器网络定位算法分为基于测距和免于测距的定位算法. 基于测距的定位技术对环境的依赖性比较高, 免于测距的定位算法利用网络连通性来进行节点位置的

收稿日期: 2011-05-09; 修回日期: 2011-07-18

基金项目: 四川省教育厅青年基金资助(2006B082); 绵阳市科技局基金资助(07Y004-4)

估计^[4].

基于测距的定位技术对硬件要求比较高. 基于此,研究者们提出了许多免于测距的定位技术. 当前对于免测距的定位算法主要有: DV-hop^[5]算法和 Euclidean 算法^[6]、质心算法^[6]、凸规划算法^[7]、APIT 算法^[8]、Bounding Box 算法^[9]、Amorphous 算法^[9]和 Robust Position 算法^[10]等等,以上这些在定位精度和节点能耗方面取得了一定的效果,但是都存在一定的缺陷,其定位粒度和通信开销无法得到很好的均衡,整个网络的拓扑结构对定位精度的影响非常大. 基于以上原因,本文提出了一种新的无线传感器网络定位算法 IMDV-Hop,该算法利用修正因子 $\bar{\delta}_i$ 分别对跳数及平均跳距进行了适当的修正,分三种情况对节点间的平均跳距进行了分析和计算,使得在计算待定位节点到锚节点的距离时其累积误差大大减小,从而估算出的待定位节点的坐标更接近于真实值,有效地解决了定位性能和无线传感器网络的成本问题.

3 一种新的定位算法 IMDV-Hop

本文定位算法 IMDV-Hop 主要是对 Dragos Niculescu 等人提出的 DV-Hop 定位算法进行改进. DV-Hop 算法^[7]由3部分组成,首先求出未知节点到锚节点之间的跳数,然后通过锚节点估算网络的平均节点间距,将此平均间距采用可控洪泛在网络中进行传播,使每个未知节点都能够收到;最后用三边测量法计算未知节点的坐标信息. 本文的改进主要是针对 DV-Hop 算法的前两步,在具体描述新算法 IMDV-Hop 之前,首先对一些基本概念作简单的说明.

定义1 单个节点定位相对误差 E_s .

$$E_s = \frac{||r_{\text{est}} - r_{\text{real}}||}{R} \times 100\%$$

式中, r_{est} 为未知节点的估计位置, r_{real} 为未知节点的真实位置, R 为节点的通信半径.

定义2 总平均相对误差 E_t .

$$E_t = \frac{\sum_{i=m+1}^n ||r_{\text{est}}^i - r_{\text{real}}^i||}{(n-m) \times R} \times 100\%$$

式中, m 为网络中锚节点的数目, n 为网络中所有节点的数目; r_{est}^i 为第 i 个未知节点的估计位置, r_{real}^i 为第 i 个未知节点的实际位置; R 为节点的通信半径.

定义3 通信开销 I_m . 在定位的过程中,网络内

所有节点所发送的数据包的数目.

定义4 连通度. 连通度分为节点连通度和网络连通度. 节点连通度是指该节点周围相邻一跳范围内节点的个数;网络连通度是指锚节点和未知节点周围相邻一跳范围内节点的个数平均值^[11].

3.1 跳数计算

考虑到局部拓扑结构的变化对整个网络的影响,本文所提出的算法在计算局部范围内待定位节点的跳数时,引进了局部跳数 S_i 和修正因子 $\bar{\delta}_i$,用 $\bar{\delta}_i$ 对 S_i 进行修正. 使用 $(1 + \bar{\delta}_i) * S_i$ 来代替原 DV-Hop 算法中计算出的跳数,充分考虑了网络的局部变化情况,使待定位节点的跳数更符合真实值,起到了在定位的初始阶段就将累积误差降到最小的作用.

第1步 利用传统网络中典型的距离路由协议,计算所有未知节点到锚节点的跳数. 设 i 为未知节点中的某一个待定位节点, j 为它的邻居节点(其中 $j \in nbrs(i)$),则 h_i 和 h_j 分别表示此待定位节点和其邻居节点与锚节点之间的跳数;

第2步 计算待定位节点 i 的所有邻居节点的集合 $nbrs(i)$;

第3步 随机选择待定位节点 i 通信半径 R 范围内的4个锚节点,假设4个锚节点的坐标分别为: (X_1, Y_1) 、 (X_2, Y_2) 、 (X_3, Y_3) 和 (X_4, Y_4) . 任意选择其中3个锚节点用极大似然估计法对另外一个锚节点进行定位,在此我们假设用前三个锚节点对第四个锚节点进行定位,那么估算出的位置坐标为 (X'_4, Y'_4) ,设 δ_i 为局部范围内单个邻居节点的修正因子.

$$\delta_i = [X_4 - X'_4]/(X_4 + X'_4) + (Y_4 - Y'_4)/(Y_4 + Y'_4)]/2 \quad (1)$$

循环第3步,每次待定位锚节点都各不相同,由于所有邻居节点的个数为 $nbrs(i)$,所以循环的次数为 $nbrs(i)$,因此平均修正因子 $\bar{\delta}_i$ 为

$$\bar{\delta}_i = \frac{\sum_{i=1}^{nbrs(i)} \delta_i}{nbrs(i)} \quad (2)$$

第4步 计算待定位节点 i 的局部跳数 S_i ,即

$$S_i = \frac{\sum_{j \in nbrs(i)} h_j + h_i}{|nbrs(i)| + 1} - 0.5 \quad (3)$$

第5步 用修正因子 $\bar{\delta}_i$ 对局部跳数进行修正. 最终结果用 H_i 表示,即

$$H_t^i = (1 + \bar{\delta}_i) * S_i \quad (4)$$

由式(1)~(4)可推出:

$$H_t^i = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^{nbrs(i)} \delta_i}{nbrs(i)} \right] * \left[\frac{\sum_{j \in nbrs(i)} h_j + h_i}{|nbrs(i)| + 1} - 0.5 \right] \quad (5)$$

3.2 平均每跳间距

传统 DV-Hop 算法^[5]计算平均每跳间距的方法如下:

$$Hopsiz_{e_i} = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_{ij}} \quad (6)$$

式中, (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 分别为锚节点 i 和 j 的坐标, h_{ij} 是锚节点 i 和 j 之间的跳数. 传统方法在计算平均每跳间距时没有充分考虑到局部拓扑对整个网络的影响, 从而导致计算出的平均每跳间距与实际网络的平均每跳间距差别很大. 权衡定位精度和能耗, 本文在计算平均每跳间距时分以下三种情况.

(1) 当待定位节点的邻居节点数 $nbrs(i)$ 小于或等于 6 时, 平均每跳间距根据 Kleinrock-Slicerster 公式^[12]来表示:

$$Hopsiz_{e_i} = R * \left(1 + e^{-nbrs(i)} - \int_{-1}^1 e^{-\frac{nbrs(i)}{\pi} (\arccos t - \sqrt{1-t^2})} dt \right) \quad (7)$$

为了使计算出的平均每跳间距更接近于真实值, 可用 $\bar{\delta}_i$ 对 $Hopsiz_{e_i}$ 进行修正, 修正后的平均每跳间距用 $Hopsiz'_{e_i}$ 表示, 即:

$$Hopsiz'_{e_i} = (1 + \bar{\delta}_i) * Hopsiz_{e_i} = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^{nbrs(i)} \delta_i}{nbrs(i)} \right] * R * \left(1 + e^{-nbrs(i)} - \int_{-1}^1 e^{-\frac{nbrs(i)}{\pi} (\arccos t - \sqrt{1-t^2})} dt \right) \quad (8)$$

(2) 当待定位节点的邻居节点数 $nbrs(i)$ 大于 6 且小于等于 15 时, 即 $6 < nbrs(i) \leq 15$ 时, $Hopsiz'_{e_i}$ 为 $0.7R$ (其中 R 为节点的通信半径).

(3) 当待定位节点的邻居节点数 $nbrs(i)$ 大于 15 时, 其平均每跳间距的变化趋于平缓, 此时可取 $Hopsiz'_{e_i}$ 为 $0.8R$.

3.3 位置估计

将 $Hopsiz_{e_i}$ 在网络中进行洪泛, 当待定位节点收到第一个 $Hopsiz'_{e_i}$ 值时, 就将其保存到缓存中, 为计算待定位节点到锚节点的距离作准备.

当未知节点接收到 $Hopsiz'_{e_i}$ 后, 就根据前面得来的基本跳距来计算它与锚节点之间的距离. 设 d_i 为未知节点与锚节点之间的距离, 则:

$$d_i = Hopsiz'_{e_i} * H_t^i$$

获得未知节点与锚节点之间的距离, 利用三边测量法对其进行坐标位置估计. 现假设 (x, y) 和 (x_i, y_i) 分别表示待定位节点和锚节点的坐标. 则有

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \\ \dots \\ (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d_i^2 \end{cases}$$

用矩阵表示如下:

$$AX = b,$$

其中:

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_i) \dots 2(y_1 - y_i) \\ \dots \\ 2(x_{i-1} - x_i) \dots 2(y_{i-1} - y_i) \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_i^2 + y_1^2 - y_i^2 + d_i^2 - d_1^2 \\ \dots \\ x_{i-1}^2 - x_i^2 + y_{i-1}^2 - y_i^2 + d_i^2 - d_{i-1}^2 \end{bmatrix}$$

可推导出

$$X = (A^T A)^{-1} A^T b$$

4 算法仿真及分析

为了评估和检验算法 IMDV-Hop 的性能, 采用 OMNeT++ 以及 Matlab 对其进行了仿真, 并在相同的实验环境下与 DV-Hop 算法进行对比. 仿真区域内随机部署 200 个节点. 下面分别讨论待定位节点的定位误差情况以及锚节点密度、通信半径 R 对节点定位精度的影响. 为了减少误差, 每次仿真都进行 100 次, 之后取平均值作为最后的值.

在仿真区域内有 200 个节点, 其中锚节点的个数为 20, 节点的通信半径 R 分别设为 15~40 m, 比较在通信半径变化的情况下, 两者的平均定位误差. 如图 1 所示为节点通信半径对定位精度的影响.

从图 1 可以看出, 两种算法的平均误差随着通信半径的增加而逐渐减少, 本文所提算法定位精度要明显高于传统 DV-Hop 算法, 本文所提出的算法和传统 DV-Hop 算法的平均定位误差分别为 28.2% 和 38.2%.

图 2 所示为平均定位误差随锚节点比例变化曲线图, 节点总数仍然保持 200 个不变, 节点的通信半径 R 为 15 m, 锚节点数的数目分别为 20、25、30、35、40 和 45.

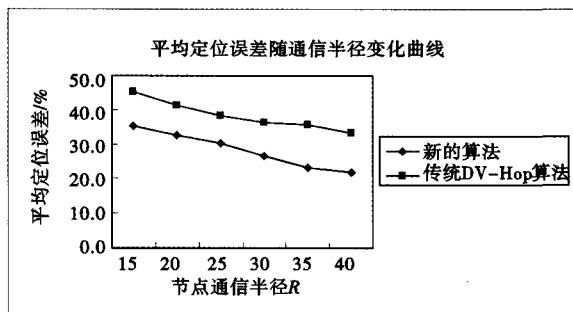


图1 定位误差随节点半径变化曲线图

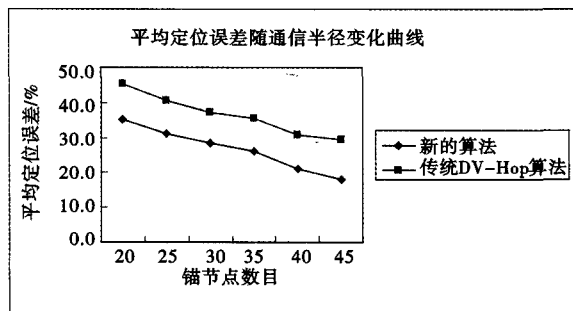


图2 定位误差随锚节点数目变化曲线图

从图2可以看出,本文所提算法的平均定位精度随着锚节点数目的增加而增加.在相同条件下,新算法比传统DV-Hop算法平均定位误差降低约9.8%.

5 结束语

本文研究了无线传感器网络节点定位问题,提出了一种新的定位算法IMDV-Hop,并通过仿真实验进一步验证了算法的稳定性和可靠性.仿真实验表明,本文所提算法在定位精度、节点的能量消耗和平均定位误差上相比于传统算法都有明显的优势.

参考文献:

- [1] Sun L M, Li J Z. Wireless sensor network[M]. Beijing: Tsinghua University Publisher, 2005
- [2] Song W, Wang B, Zhou Y B. Technology and application of wireless sensor network [M]. Beijing: The Electronics Industrial Publisher, 2007.
- [3] Nagpal R, Shrope H, Bachrach J. Organizing a global

coordinate system from local information on an ad hoc sensor network[C]//Proceedings of the 2nd International Workshop on Information Processing in Sensor Networks (ISPN'03), Palo Alto, California: IEEE, 2003.

- [4] Paramvir B, Venkata N, Padmanabhan, RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system [C]//Proceeding of Info-com'2000, Tel Aviv, Israel: IEEE Computer and Communications Societies, 2000.
- [5] Niculescu D, Nath B. Ad hoc positioning system (APS) using AoA [C]//Proceedings of the IEEE INFOCOM 2003, San Francisco: IEEE Computer and Communications Societies, 2003;1734-1743.
- [6] Bulusu N, H EIDEMANN J, EST RIN D. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7 (5):28-34.
- [7] Doherty L, Pister K, El Ghaoui L. Convex position estimation in wireless sensor networks [C]//IEEE Infocom 2001, Anchorage, Ak: IEEE, 2001.
- [8] Het, Huang chd, Metalb B. Range-free localization schemes in large scale sensor networks[C]//Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, NY, USA: ACM, 2003: 81-95.
- [9] Simic S N, Sast RY S. Distributed localization in wireless ad hoc networks [M]. Berkeley UC Berkeley, 2002,UCB-ERL-M02-26.
- [10] Savarese C, Rabay J, Langendoen K. Robust positioning algorithms for distributed ad hoc wireless sensor networks[C]//ELLIS CS, ed. Proceeding of the USENIX Technical Annual Conference. USA: USENIX Press, 2002: 317-32.
- [11] 丁宏毅,李鸥,张效义.无线传感器网络理论与实现[M].北京:国防工业出版社,2008.255-272.
- [12] 尚志军,曾鹏,于海斌.无线传感器网络节点定位问题[J].计算机科学,2004,31(10):35238.

作者简介:

范敏男,(1967—),硕士,副教授.研究方向为并行计算、无线传感器网络.

胡伟男,(1979—),博士研究生,讲师.研究方向为系统工程、供需网、无线传感器网络.