

一种高效可靠的无线传感器网络定位算法

陈翔¹, 罗守山²

(1. 杭州师范大学 杭州国际服务工程学院, 浙江 杭州 310036;

2. 北京邮电大学 信息工程学院, 北京 100876)

摘要: 提出了一种新的基于接收信号强度(RSSI)的无线传感器网络定位算法, 将固定锚节点之间的距离和信号强度信息同时作为参考来校正每个固定锚节点的权值, 每个节点收集自身到其一跳邻节点的 RSSI 值, 当收集数量达到要求时, 对数据进行滤波并求平均值处理。通过理论推导证明该方法可以有效降低 RSSI 不规则网络的定位误差, 进而实现高效定位。仿真结果表明, 该定位算法可以降低定位误差, 具有高效的可用性, 能够应用于实际的无线传感器网络中。

关键词: 无线传感器网络; 定位算法; 定向路由; 链路质量评估

中图分类号: TP393.17

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)24-0053-03

An efficient and reliable localization algorithm for wireless sensor networks

CHEN Xiang¹, LUO Shou Shan²

(1. Hangzhou Institute of Service Engineering, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China;

2. College of Information Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: This paper, a novel based on the received signal strength (RSSI) of wireless sensor networks localization algorithm, the distance between the fixed anchor nodes and signal strength information as a reference to two kinds of information while each of the fixed anchor nodes calibration weights to each node to collect its own RSSI value-hop neighbor nodes, when the collection reached the number of requirements, filter the data and average the deal. Through theoretical analysis to prove that the method can effectively reduce the positioning error of RSSI irregular network, thus achieving high positioning. Simulation results show that the use of the proposed location algorithm can reduce the positioning error, with high availability, can be applied to practical wireless sensor networks.

Key words: wireless sensor networks; location algorithm; direct diffusion; link quality evaluation

无线传感器网络作为一种新兴技术, 在工农业、城市管理、抢险救灾等许多领域都有重要的科研价值和应用前景, 是目前学术界研究的热点问题之一。其中, 传感器节点的定位问题是无线传感器网络中的一个基本和关键问题^[1]。在传感器网络中, 传感器节点自身的正确定位是提供监测事件位置信息的前提。只有在节点自身正确定位之后, 才能确定传感器节点监测到的事件的具体位置, 这需要监测到该事件的多个传感器节点之间相互协作, 并利用他们自身的定位机制确定事件发生的位置。

近年来国内外研究人员提出了一些定位算法。在

DV-Hop 定位算法^[2-3]中, 将节点的无线射程 R 作为平均每跳的距离, 这对于节点分布密集且均匀的网络比较适合。但当节点分布不均匀或节点密度较低时, 非邻居节点间的估计距离会比实际距离偏大, 只有在各向同性的密集网络中才能合理估算出每跳的平均距离。SPA 算法^[4]选择网络中连通度最大的节点作为坐标原点, 建立全局相对坐标系。其余每个节点分别通过测距获得邻居节点间的距离, 在各个节点建立局部坐标系, 通过节点间的信息交换与协调, 以参考点为基准通过坐标变换(旋转与平移)建立全局坐标系统。由于每个节点都要参与多次坐标变换, 因此计算量和定位误差都非常大。

网络与通信 Network and Communication

本文针对目前定位算法距离值误差较大以及低效的问题,考虑把固定锚节点之间的距离和信号强度两种信息同时作为参考来校正每个固定锚节点的权值,弥补了 DV-Hop 算法和 SPA 算法的不足。在本文算法中,每个节点收集自身到其一跳邻节点的 RSSI 值,当收集数量达到要求时,对数据进行滤波并求平均值处理。仿真结果表明,本文提出的定位算法可以降低定位误差,具有高可用性,能够应用于实际的无线传感器网络中。

1 ERL 定位算法

在无线传感器网络中,RSSI 受环境影响的程度较大,相同的节点在不同的相对位置下的 RSSI 值有可能相差非常大。此外,在同一环境下,不同区域或不同方向的节点,尽管距离相同,RSSI 值也可能不相同。这就意味着同一个 RSSI 值,在同一网络拓扑分布中的不同节点对间代表的距离是不同的,相应的权值也应当是不同的。如果未知节点的位置计算仅仅考虑未知节点到某个固定锚节点的 RSSI 值而没有加入其他修正方法,那么由于 RSSI 值受环境的影响可能导致算法的误差较大。所以,考虑把固定锚节点之间的距离和信号强度信息两种信息同时作为参考来校正每个固定锚节点的权值,进而弥补了 DV-Hop 和 SPA 算法的不足。

在基于接收信号强度指示(RSSI)的定位算法中,已知发射节点的发射信号强度,接收节点根据收到的信号强度计算出信号的传播损耗,利用理论和经验模型将传输损耗转换为节点的位置。ERL 定位算法的理论依据是 RSSI 可以标示信号的强度,进而可以判断出节点间的距离信息,通过理论推导,得出未知节点到固定节点的距离,进而达到高效定位的目的。

本文提出的 ERL 定位算法总体上分为两个阶段:测距阶段和定位计算阶段。在测距阶段的整个网络自组织过程中,每个节点收集自身到其一跳邻节点的 RSSI 值,当收集数量达到要求时对数据进行滤波并求平均值处理,保存最终结果。当组网成功后,由信标节点广播发送定位数据帧,其中含有信标节点的 ID、坐标信息、数据帧生命期、跳计数和 RSSI 累加值,跳计数和 RSSI 累加值初始化为 0。在定位计算阶段中,当未知节点接收到 3 个或 3 个以上信标节点的坐标时,可以采用下面的推理方法从而提高定位的网络覆盖率,达到高效定位的目的。主要推导过程如下:

$RSSI_i$ 表示未知节点 M 接收到固定锚节点 B_i 信号的 RSSI 平均值(单位 dbm), P_i 表示未知节点 M 接收到固定锚节点 B_i 的信号强度平均值(单位 mW),则两者的转换关系如式(1)所示:

$$P_i = 10^{\frac{RSSI_i}{10}} \quad (1)$$

在计算未知节点与固定锚节点的距离时,以固定锚

节点对之间的距离和测量的 RSSI 值作为参考,将固定锚节点之间的距离和信号强度信息考虑进来校正固定锚节点的权值,从而提高算法的精度。 $RSSI_j$ 表示固定锚节点 B_j 。接收到固定锚节点 B_j 信号 RSSI 平均值(单位 dbm), P_j 表示固定锚节点 B_j 接收到固定锚节点 B_j 的信号强度平均值(单位 mW),则同理有:

$$P_j = 10^{\frac{RSSI_j}{10}} \quad (2)$$

d_{ij} 表示固定锚节点 B_i 和 B_j 之间的距离。 d_i^j 表示以固定锚节点 B_i 和 $\beta = 10^{-\frac{RSSI_j}{10}}$ 为参考时,代入式(2)计算得到的从未知节点 M 到固定锚节点 B_i 距离:

$$d_i^j = \frac{P_{ij}^{\frac{1}{\beta}} \times B d_{ij}}{P_i^{\frac{1}{\beta}}} \quad (3)$$

因此未知节点到固定锚节点 B_i 的距离 d_i^j 可以表示为 d_i^j 对于所有 j 的可能值的平均值。

2 底层传输模型

为了准确评价 ERL 算法,需要选择一种适合无线传感器网络底层传输模型,这里选择 Shadowing 模型。该模型由 pass loss 和接收到的能量变化两部分组成。第一部分是 pass loss 模型,它能够预测出当距离为 d 时接收到的平均能量,表示为 $\overline{P_r(d)}$ 。它使用了一个接近中心的距离 d_0 作为参考, $\overline{P_r(d)}$ 相对于 $P_r(d_0)$ 的计算如下:

$$\frac{\overline{P_r(d)}}{\overline{P_r(d_0)}} = \left(\frac{d}{d_0}\right)^{\beta} \quad (4)$$

β 是 pass loss 指数,它通常是由场地测量得来的经验值。Pass loss 通常由 dB 作为计量单位,因此从式(4)中可以得到:

$$\left[\frac{\overline{P_r(d)}}{\overline{P_r(d_0)}}\right]_{\text{dB}} = -10\beta \log\left[\frac{d}{d_0}\right] \quad (5)$$

Shadowing 模型的第二部分反映了当距离一定时接收到的能量的变化。它是一个对数正态随机变量,即如果以 as 作为计量单位则满足高斯分布。完整的 Shadowing 模型如下:

$$\left[\frac{\overline{P_r(d)}}{\overline{P_r(d_0)}}\right]_{\text{dB}} = -10\beta \log\left[\frac{d}{d_0}\right] + X_{\text{dB}} \quad (6)$$

X_{dB} 是一个没有任何意义的高斯随机变量。式(6)也被称为对数正态 shadowing 模型。根据 Shadowing 模型对理想环境模型进行了扩展,变成了一个富有统计学的模型:当节点接近通信范围边缘时,能否通信只能是一个随机事件。

通过以上分析可以看出,在仿真实验中,为了模拟现实的无线传感器网络的通信特性,可以使用 shadowing 物理通信模型,本文所提出的定位算法同样基于该模型,为该算法的实际应用提供了较强的说服力。

网络与通信 Network and Communication

3 仿真试验及性能评估

本节利用 NS2 仿真工具分析上文提出的算法性能,设计实验场景如下:在一个 500 m×500 m 的区域内按均匀分布随机放置 400 个无线传感器节点,设定锚节点和普通节点的通信半径 R 都为 10 m,网络节点连接度为 8.28,每次定位需要的成功样本数 N 为 100。以所有待定位节点的估计位置与真实位置的平均误差作为性能评估的标准,平均误差对通信半径 R 进行归一化。每个仿真结果在同一环境下运行 10 次取平均值。

为了对本文所提出的联合优化方法 ERL 做出性能评价,需要选择一种路由协议作为评价的“载体”。考虑到 Direct Diffusion 协议^[5]是一种按需路由协议,协议的设计适合于无线传感器网络的应用,便于性能的比较,这里做出如下的标记:将原始基于 HOP 算法的命名为 HOP-DD,将基于 SPA 算法命名为 SPA-DD,将基于本文提出的 ERL 算法命名为 ERL-DD。

图 1 所示为定位误差随锚节点比例的变化情况。可以看出,基于 HOP 的抽样效果要好基于 SPA 的抽样,因为基于 HOP 的抽样对样本点的过滤更加严格,得到的样本点的值也更加接近真实值。理论上说越严格的过滤条件得到的样本点也会越好,但是相应地会使需要抽样的次数增加,才能满足样本数量的要求。ERL-DD 则使用了本文提出的定位算法,考虑了固定锚节点之间的距离,其效果优于 HOP-DD 和 SPA-DD。

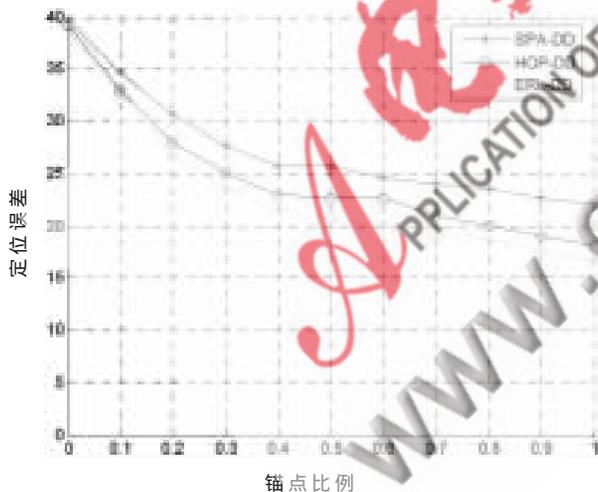


图 1 锚点比例和定位误差

图 2 所示为不同个数节点下的定位误差分布图, DV-Hop 由于使用两次洪泛而使其节点间通信量过大,并且利用跳段距离代替直线距离存在一定的误差。从图中可以看到,基于本文所提出的 ERL 算法在相同节点个数下,优于基于 SPA 和 HOP 的定位算法。主要原因在于 DV-HOP 算法在节点间消耗大量的能量,而且定位误差大,SPA 算法随着网络寿命的变短及其不稳定,定位误差大。本文所提出的算法基于 RSSI 定位,可以节省定位能耗,提高定位精确度。

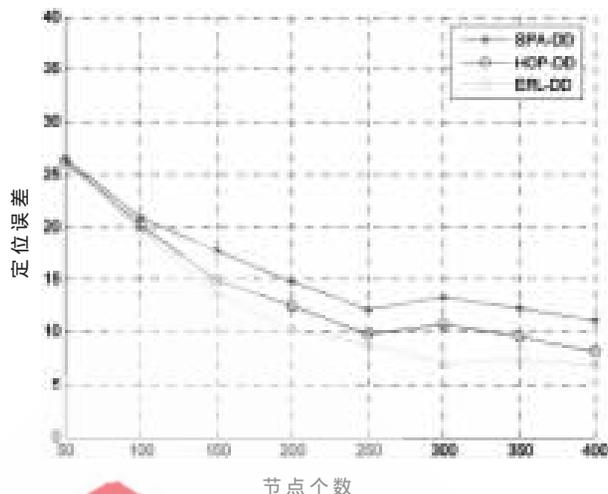


图 2 节点个数和定位误差

本文分析了定位算法的研究现状,针对无线传感器网络的通信链路存在着高丢失率、非对称性等特点,设计了一个高效可靠的定位算法,并将此算法应用于 Direct Diffusion 协议中。仿真结果表明本文提出的定位算法可以节省定位能耗,提高定位精度,具有高可用性,对无线传感器网络的实际应用具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 屈斌,胡访宇.高效节能的无线传感器网络路由协议研究[J].计算机仿真,2008,25(5):113-116.
- [2] SON D, KRISHNAMACHARI B, HEIDEMANN J. Experimental study of the effects of transmission power control and blacklisting in wireless sensor networks. In IEEE SECON, 2004: 289-298.
- [3] YANG S W, YI J Y, CHA H J. HCRL: a hop count-ratio based localization in wireless sensor networks sensor[A]. Proceedings of the 4th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks[C]. TEEE Publish House. 2007: 31-40.
- [4] ELEONORA S, EMILIE H, MANFRED N. Study of the behaviour of a catalytic ceramic candle filter in a lab-scale unit at high temperatures[J]. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 2010: 135-142.
- [5] KHAN S A, MULVANEY R L, HOEFT R G. Direct-diffusion methods for inorganic-nitrogen analysis of soil. Soil Science Society of America Journal[J]. 2000, 64(3): 1083-1089.

(收稿日期:2010-07-22)

作者简介:

陈翔,男,1977年生,讲师,硕士,主要研究方向:计算机网络、传感器网络。

罗守山,男,1962年生,教授,博士生导师,主要研究方向:编码密码学、网络安全、无线网络。