• 网络与通信 •

文章编号: 1000-3428(2011)14-0097-03

文献标识码: A

中图分类号: TP301.6

无线传感器网络的三维空间定位算法

陆保国,袁 杰

(南京大学电子科学与工程学院,南京 210093)

摘 要:环境和硬件本身等因素使无线传感器网络的定位精度受到影响。为此,通过三维空间定位过程的分析,提出基于接收信号强度(RSSI)测距和 Gauss 模型的 RGM 定位算法。该定位算法无需硬件的扩展。仿真实验表明,相比普通的基于 RSSI 的测距算法,该算法可提高定位精度、缩短响应时间。

关键词: 无线传感器网络; 节点定位; 接收信号强度测距; RGM 算法

3D Space Localization Algorithm on Wireless Sensor Network

LU Bao-guo, YUAN Jie

(School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

[Abstract] The precision of the localization is affected due to the various reasons such as environment and hardware itself. The paper presents the Received Signal Strength Indicator(RSSI) ranging and Gauss Mixed(RGM) algorithm localization algorithm, which is based on RSSI range measurement and Gauss model. The algorithm is easy to implement and does not need to hardware extension. Simulation result shows that the proposed method obtains a more accurate localization result than the RSSI localization algorithm and has a shorter responding time.

[Key words] wireless sensor network; node localization; Received Signal Strength Indicator(RSSI) range measurement; RSSI Gauss Mixed(RGM) algorithm

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.14.031

1 概述

无线传感器网络是一种全新的信息获取和处理技术,并以低成本、低功耗、分布式和自组织等特点得到广泛应用^[1]。 无线传感器的节点定位技术是无线传感器网络应用的一个关键技术,在目标检测和跟踪、基于位置信息的路由、节点位置的定位等方面是不可或缺的^[1]。

根据定位过程中是否需要测量节点之间的距离或角度,可以把定位算法分为基于距离的定位算法和与距离无关的定位算法^[2]。前者需要测量节点之间的绝对距离或方位,并利用节点间的实际距离计算未知节点的位置。使用的定位算法包括多边测量、多角测量或最大似然估计等定位算法,常用的测距技术有接收信号强度(Received Signal Strength Indicator, RSSI)^[3]、TOA、TDOA 和 AOA等;后者则不需要测量节点间的距离和角度信息,算法根据网络连通性等信息实现节点定位。其中,RSSI 测距虽然误差比较大,但是 RSSI 值可以由传感器节点自身测量得到,不需要额外的硬件支持,所以,提高 RSSI 的定位精度是一件比较有意义的工作。在无线传感器网络中,理论上通过 4 个参考节点,运用多边测量法,就可以决定一个未知节点的空间位置。RSSI 测距利用接收信号的强度和自由空间无线电传播路径损耗模型计算距离^[4],其统计模型如下:

$$\left[\overline{p_r(d)}\right]_{\text{dBm}} = \left[p_r(d_0)\right]_{\text{dBm}} - 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) \tag{1}$$

其中, $\left[\overline{p_r(d)}\right]_{\text{dBm}}$ 为在距离 d 处的信号强度(dBm); d_0 是参考距离,通常为 1 m; n 为路径损耗因子,根据环境不同而改变,一般取值为 $2\sim4$ 。

在实际的应用环境中,由于多径、绕射、障碍物等因素 使得距离估测有误差^[5]。通常基于 RSSI 测距的定位机制使用 各种算法来减少测距误差对定位误差的影响,但是有些算法 会产生大量的计算和通信开销,而且还得不到好的定位精度。 本文综合高斯模型和 RSSI 算法,在产生很小计算量的情况 下,提高了无线传感器网络的节点定位精度。

2 高斯模型

高斯模型原理^[6]:当一个未知节点接收到 n个 RSSI 值时,一定会存在一些数值是小概率出现的,为了提高定位精度,可以用高斯模型来排除这些数值。

首先,保存一个未知节点在同一位置接收到的 RSSI 值,并保存矩阵 Beacon_val[]。

接着,用正态分布模型处理这些 RSSI 值。

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$$
 (2)

其中

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i, \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - m)^2$$
 (3)

根据实践经验,选择 0.6 作为阈值。当正态分布值大于 0.6 时,认为此时获得的 RSSI 值是高概率数值,可以保存利用;反之舍弃。

$$0.6 \leqslant \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \leqslant 1 \tag{4}$$

通过式(3)可以获得期望值和方差。

根据式(4)的选择,从矩阵 Beacon_val[] 中找出高概率出

基金项目: 江苏省科技厅重大科技支撑自主创新基金资助项目(BE2 009005)

作者简介: 陆保国(1986-), 男, 硕士研究生; 主研方向: 无线传感器网络; 袁 杰, 副教授、博士

收稿日期: 2010-12-20 E-mail: baoguolu@gmail.com

现的 RSSI 值,并把这些数值保存到矩阵 *Beacon_val_gauss*[]中。最后根据式(3),计算出最终的 RSSI 值 *R*:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} Beacon_val_gauss[i]$$
 (5)

其中, n 为出现高概率数值的次数。

3 基于 RSSI 定位精度的分析

在无线传感器网络的空间定位过程中,在不存在误差的情况下,通过 4 个参考节点就可以确定一个未知节点的空间位置^[7]。 假设 4 个参考节点的坐标分别为 $A_i = (x_i, y_i, z_i)$,i=1,2,3,4,未知节点的坐标为 M(x,y),该节点到 4 个参考点的距离分别是 d_i , i=1,2,3,4。根据三维空间距离计算公式,可以得到一个非线性方程组:

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 = d_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 = d_2^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2 = d_3^2 \\ (x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2 = d_4^2 \end{cases}$$
(6)

由式(6)可以求得未知节点的坐标。可以看出未知节点的 定位精度取决于该节点到各个参考节点的测量距离。

假设 RSSI 测距过程中的误差为 $\varepsilon>0$,那么当 2 个节点之间的实际距离为 d 时,实际测量距离就在(d, $d+\varepsilon$)之间。在实际环境中,传感器网络节点分布范围小,天线在各个方向上受到的影响不同,为简化分析,可假设距离误差 ε 是相等的。在存在误差的情况下,4 个球相交构成一个小区域,记为 A_p ,该区域的体积则可以表示定位误差的大小,如图 1 所示。

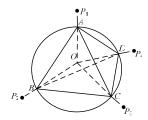


图 1 定位误差分析

设 OA、OB、OC、OD 两两间的夹角为 α_i , i = 1,2,L ,6 ,根据四面体的体积公式可以求得:

$$\begin{split} V_{abcd} &= \frac{\varepsilon^2}{6} (\sqrt{1 + 2\cos\alpha_1\cos\alpha_2\cos\alpha_3 - \cos^2\alpha_1 - \cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_3} + \\ &\sqrt{1 + 2\cos\alpha_1\cos\alpha_4\cos\alpha_5 - \cos^2\alpha_1 - \cos^2\alpha_4 - \cos^2\alpha_5} + \\ &\sqrt{1 + 2\cos\alpha_2\cos\alpha_4\cos\alpha_6 - \cos^2\alpha_2 - \cos^2\alpha_4 - \cos^2\alpha_6} + \\ &\sqrt{1 + 2\cos\alpha_1\cos\alpha_5\cos\alpha_5\cos\alpha_5 - \cos^2\alpha_5 - \cos^2\alpha_5 - \cos^2\alpha_6} \end{split}$$

如图 2 所示,四面体 ABCD 由 4 个小四面体(OABC、OACD、OABD、OBCD)组成,所以 $V(\overline{A_p})$ 等于这 4 个四面体的体积之和。下面讨论小四面体在何种情况下体积最小。

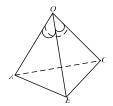


图 2 小四面体 OABC

取其中一个小四面体 OABC, 求其体积进行分析。设在 四面体 OABC 中点 O 的 3 个夹角为 α 、 β 、 ε ,而且有 $OA=OB=OC=\varepsilon$ 。由四面体的体积公式可以求得:

$$V_{OABC} = \frac{\varepsilon^3}{6} \sqrt{1 + 2\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma - \cos^2\alpha - \cos^2\beta - \cos^2\gamma}$$
 (7)

因为 $\alpha, \beta, \gamma \in (0, \pi)$,所 $\cos \alpha$ 、 $\cos \beta$ 、 $\cos \gamma$ 均为递减函数, $x = \cos \alpha$ 、 $y = \cos \beta$ 、 $z = \cos \gamma$,则 $x, y, z \in (-1, 1)$,令 $f_v = V_{OABC}$,则有:

$$f_{\nu} = \frac{\varepsilon^3}{4} \sqrt{1 - x^2 - y^2 - z^2 + 2xyz}$$
 (8)

在式(8)中,只要讨论根号里面的取值,就可以确定 f_v 的取值范围。令:

$$f = 1 - x^2 - y^2 - z^2 + 2xyz, x, y, z \in (-1,1)$$
(9)
对上示论信息 可以想到。

对上式求偏导,可以得到:

$$\begin{cases} f'_{x} = -2x + 2yz \\ f'_{y} = -2y + 2xz \\ f'_{z} = -2z + 2xy \end{cases}$$
 (10)

当 $f_x' = f_y' = f_z' = 0$ 时,f 可以得到一个极小值,由式(10) 可以求得 x=y=z, $x,y,z\neq 0$ 。

由此可以看出,在 α 、 β 、 ϵ 这 3 个角相等时,小四面体 OABC 可以得到最小体积。同理,在其他 3 个小四面体的 3 个位置相同夹角相等时,也可以得到最小体积。也就是说 α_i , i=1,2,L, 6 这 6 个角两两相等时,可以等到 $V(\overline{A_o})$ 最小。

在 α_i , i = 1,2,L ,6,π相等时,此时的四面体是正四面体,体积为 $\frac{\sqrt{2}}{12} \varepsilon^2$ 。 由正四面体的特性可以得到 $\alpha_1 = \alpha_2 = L = \alpha_6 = \arccos(-\frac{1}{3})$,转换为度数就是 109.471 2°,互补的锐角就是 70.528 8°。

由上面的推导可以看出,在任意 2 个参考节点与未知节点连线夹角(锐角)都等于 70.528 8°时,未知节点的定位误差最小。可以得出当未知节点与 4 个参考节点的夹角同时趋近于 70.528 8°时,四面体的体积越来越小。

在实际定位过程中,可以取一个阈值 λ ,及选取 6 个角度满足 70.528 8° $-\lambda \le \alpha_i \le 70.528$ 8°+ λ 条件的参考节点实现定位。

4 RGM 算法描述

依据上文提出的 RGM 算法模型,提出一种新的定位算法如下: (1)参考节点周期发送自身信息: 节点 ID,自身的位置信息。(2)未知节点收到多个这样的信息后,记录参考节点的 RSSI 值,利用式(1)计算节点间的距离,再利用高斯模型,得到高概率的距离值。(3)取 4 个参考节点,计算未知节点相对于参考节点顶点的角度。(4)利用角度位于 $[70.528~8^{\circ}-\lambda < \alpha_i \le 70.528~8^{\circ}+\lambda]$ 间的 4 个节点计算未知节点位置。(5)利用多次测量的方法,取平均值最后得到未知节点的计算位置。

5 仿真实验

本文利用 Matlab 建立了一个在 10 m×10 m×10 m 范围内的仿真环境,参考节点均匀分布在这个范围内,每一个未知节点都能收到参考节点的信息,比较 RGM 算法和传统的多边形定位算法的性能。

仿真 1: 取 λ 的值为 5°, 4 个参考节点, 测量 20 次, 仿真结果如表 1 所示。

表 1 20 次测量仿真结果

	.,,,	104-017	
算法	实际坐标	计算坐标	误差/(%)
RGM 算法	(2.9, 5.0, 2.0)	(2.849 6, 5.058 7, 2.003 4)	0.477
多边定位算法	(2, 4, 7)	(2.418 8, 3.715 3, 6.973 0)	4.540

表 1 的数据是根据 RGM 算法得到的仿真结果,而下面的数据是普通多边定位算法的仿真结果。对比可知,RGM 算法的精确度提高很多。

仿真 2: 取多个测量次数,观察误差变化,再根据误差 选择合适的测量次数。仿真结果如图 3 所示。

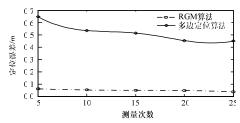


图 3 不同测量次数下的仿真结果

由图 3 可以看到, RGM 算法的误差比传统多边定位算法要少一个数量级, 而且随着测量次数的增加,误差也不断地减少。在 10 m×10 m×10 m 的范围内,误差为 0.05 m 是可以接受的,所以选择测量次数为 20 次,此时的定位计算时间为 3.28 s。

6 结束语

本文基于 RSSI 测距的无线传感器网络和高斯模型,提出了新的定位算法 RGM。该算法对 RSSI 测距的误差进行分析,根据无线传感器网络的不规则性,推导出未知节点和参考节点的角度阈值条件,使得未知节点的距离误差最小。该算法还引入了高斯模型提高了距离测量的精度,减少了求平均值的时间。仿真结果验证了该算法比普通的多边定位算法测量精度和定位时间上都有明显的改进,可以满足大多数情

况下传感器网络的定位要求。

参考文献

- [1] Suomela J. Computational Complexity of Relay Placement in Sensor Networks[C]//Proc. of Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics. Novy Smokovec, Slovakia: [s. n.], 2006: 521-529.
- [2] He Tian, Huang Chengdu, Blum B M, et al. Range-free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks[C]//Proc. of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. San Diego, USA: [s. n.], 2003: 81-95.
- [3] Luthy K A, Grant D, Henderson T C. Leveraging RSSI for Robotic Repair of Disconnected Wireless Sensor Networks[C]//Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation. Rome, Italy: [s. n.], 2007: 10-14.
- [4] Shen Xingfa, Wang Zhi, Jiang Peng. Connectivity and RSSI Based Localization Scheme for Wireless Sensor Networks[C]//Proc. of International Conference on Intelligent Computing. Berlin, Germany: Springer, 2005: 578-587.
- [5] 戴佩华, 薛小平, 邵玉华. 基于垂直平分线的区域定位算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(2): 105-108.
- [6] 章坚武,张 璐,应 瑛. 基于 ZigBee 的 RSSI 测距研究[J]. 传感技术学报, 2009, 22(2): 285-288.
- [7] 周 艳, 李海成. 基于 RSSI 无线传感器网络空间定位算法[J]. 通信学报, 2009, 30(6): 75-79.

编辑 顾逸斐

(上接第96页)

UDT、Tsunami 以及 TCP 在不同 RTT 下的吞吐率发现,基于 UDP 的改进协议传输速率要远高于 TCP 协议。

4.3 TCP 加速器技术

TCP 加速器的原理是: 在链路靠近边缘主机的两端接入加速器(相当于 TCP Agent), TCP 发送端和接收端分别与Agent 进行 TCP 通信,在 Agent 之间采用 UDP 协议或其他协议(通常为无可靠传输保证的类 UDP 协议)。这样的作用是,原来在高延迟网络上的 TCP 通信分割为 2 个低延迟的 TCP 通信,避免了 TCP 在高延迟链路性能低下的问题,提高了吞吐率。本文对 TCP 加速器的调研和测试实验发现,加上数据压缩功能,一般加速比能达到 20 倍~30 倍。但是,这种机制的前提是中间链路是相当可靠的,而且加速器需要有非常大的缓存,否则,中间丢包可能导致更严重的冗余重传。另外,这种分割机制破坏了 TCP 协议的端到端可靠传输语义。

5 结束语

本文主要分析了高速长距离网络的传输瓶颈,从中间节点、边缘主机及改进传输协议等方面对传输性能优化技术的研究现状进行了比较全面的总结。这些技术可以总结为以下5类:(1)对中间节点瓶颈的研究,有效的拥塞避免方法包括控制 IPG 间距等。(2)对减少边缘主机协议处理的研究,包括减少中断、减少复制及将协议处理卸载到硬件等。(3)对 TCP

参数调整的研究,包括增大窗口值、增大最大传输单元以及 采用并行传输流等。(4)对协议改进的研究,包括 TCP 改进协 议和基于 UDP 的改进方案等。(5)对 TCP 加速器技术的研究。

尽管有各种节点性能优化技术和传输协议优化技术,但随着网络带宽的不断提高,终端性能日益突出地成为传输性能的瓶颈。进一步的研究需要更多考虑终端主机的处理性能,设计终端性能自适应的传输协议。

参考文献

- [1] 任勇毛,秦 刚,唐海娜,等.高速长距离光网络传输协议性能分析[J]. 计算机学报,2008,31(10):1679-1686.
- [2] Yoshino T, Sugawara Y, Inagami K, et al. Performance Optimization of TCP/IP over 10 Gigabit Ethernet by Precise Instrumentation[C]//Proc. of ACM/IEEE Conference on Supercomputing. Austin, USA: IEEE Press, 2008.
- [3] Chase J S, Gallatin A J, Yocum K J. End-system Optimizations for High-speed TCP[J]. IEEE Communications, 2001, 39(4): 68-74.
- [4] 王 圣, 苏金树. TCP 加速技术研究综述[J]. 软件学报, 2004, 15(11): 1689-1699.
- [5] 任勇毛, 唐海娜, 李 俊, 等. 高速网络 TCP 改进协议 NS2 仿 真性能比较[J]. 计算机工程, 2009, 35(2): 6-9.

编辑 索书志