

改进的无线传感器网络到达时间定位算法

张健, 李鸥, 刘广怡

(解放军信息工程大学信息工程学院, 郑州 450002)

摘要: 针对无线信道环境的复杂性和传感器节点的特点, 提出一种改进的无线传感器网络到达时间定位算法。该算法无需额外的硬件支持, 以接收节点回复时间信息的方式消除时间同步的要求, 采用多次测量结果取平均的方式削弱随机噪声的影响。仿真结果证明, 该算法定位精度高, 实用性较好。

关键词: 无线传感器网络; 到达时间; 锚节点; 目标节点

Improved TOA Positioning Algorithm for Wireless Sensor Networks

ZHANG Jian, LI Ou, LIU Guang-yi

(Institute of Information Engineering, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450002)

【Abstract】 Aiming at the complexity of the wireless communication channel and the characteristics of the sensor nodes, this paper presents an improved Time Of Arrival(TOA) positioning algorithm, which does not need additional hardware. The receiver replies with the processing time automatically, so the time synchronization of nodes is not necessary. It averages the measuring results to reduce the influence of random noise. Simulation results show that the algorithm is of high positioning accuracy, and possesses better practicability.

【Key words】 wireless sensor networks; Time Of Arrival(TOA); anchor node; target node

1 概述

在无线传感器网络中, 事件发生的位置或采集信息的节点位置是传感器节点监测消息中的重要信息, 没有位置信息的检测消息往往毫无意义。因此, 对节点进行有效的定位至关重要。传感器网络定位算法的设计要考虑信道环境和传感器节点自身的资源等诸多因素。一种好的定位算法具备以下4个条件: (1)算法必须具有较好的鲁棒性, 能有效地进行定位; (2)鉴于传感器节点上的资源有限, 算法开销必须尽量小; (3)算法不应该增加节点的成本和复杂度; (4)算法是分布式的, 能在不同规模的传感器网络中有效定位。

本文针对现有的到达时间(Time Of Arrival, TOA)定位算法存在的缺点, 提出了一种改进的无线传感器网络 TOA 定位算法, 分析了定位过程中产生误差的原因, 并仿真演示了算法的定位性能。

2 TOA 定位算法

将位置已知的节点称为锚节点, 需要定位的节点称为目标节点。在二维空间内, TOA 定位算法至少需要3个锚节点, 如图1所示, 在测得信号在目标节点与各个锚节点之间的传播时间后, 便能得到目标节点与各个锚节点之间的距离, 从而确定目标节点的坐标^[1-2]。

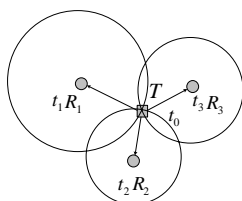


图1 TOA 定位

TOA 的定位精度高, 但定位过程中目标节点和锚节点之间需要精确的时间同步, 这对传感器节点的硬件和功耗提出

了较高的要求。随机噪声的存在导致测距结果不准确、定位误差较大。针对上述问题, 本文提出了改进。

3 改进的 TOA 定位算法

3.1 网络模型

网络模型^[3-4]如图2所示, 目标节点随机地布放在一个二维监控区域内, 节点静止且都配备有全向天线。3个锚节点A, B, C的坐标分别为 (x_a, y_a) , (x_b, y_b) , (x_c, y_c) , 它们不在同一条直线上, 目标节点的坐标为 (x, y) 。监控区域被A, B, C组成的三角形覆盖, 如果监控区域很大, 则可以摆放更多的锚节点将监控区域分割。节点都在彼此的通信范围内, 节点之间不需要时间同步, 目标节点周期性地发起定位过程, 锚节点收到目标节点发送的定位包后向目标节点回复, 同时传递处理时间信息。

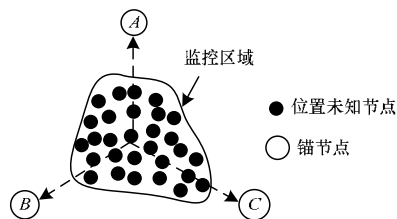


图2 网络模型

3.2 定位过程

如图3所示, 节点A, B, C为锚节点, 节点S为目标节点。发射信号的传播速度已知为 v , d_{sa} , d_{sb} 和 d_{sc} 分别代表S

基金项目: 国家发改委基金资助项目“CNGI IPv6 无线传感器网络节点”(CNGI-04-10-1D)

作者简介: 张健(1982-), 男, 硕士, 主研方向: 无线传感器网络; 李鸥, 教授、博士生导师; 刘广怡, 硕士

收稿日期: 2009-01-20 **E-mail:** Zj_cjing@126.com

与 A, B, C 之间的距离。

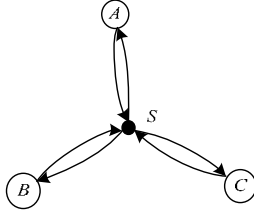


图3 定位过程

目标节点 S 周期性地发送信号，周期为 T ，测量的总周期数为 M 。每个周期开始时， S 发送定位信号。图4为第 i 周期定位过程的时间关系图。

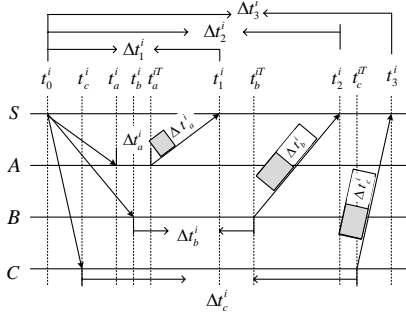


图4 定位过程时间关系图

节点 S 在 t_0^i 时刻发送信号，锚节点 A, B, C 分别在时刻 t_a^i, t_b^i, t_c^i 收到来自 S 的信号。 A 等待一段时间后，在时刻 t_a^{iT} ($t_a^{iT} > t_a^i$) 向 S 发送回复，同时传递信息： $\Delta t_a^i = t_a^{iT} - t_a^i$ ，信号在 t_1^i 时刻到达 S 。同理， B, C 等待一段时间后，分别在时刻 t_b^{iT} ($t_b^{iT} > t_b^i$) 和 t_c^{iT} ($t_c^{iT} > t_c^i$) 向 S 发送回复，传递信息： $\Delta t_b^i = t_b^{iT} - t_b^i$ 和 $\Delta t_c^i = t_c^{iT} - t_c^i$ ，信号分别在 t_2^i, t_3^i 时刻到达 S 。假设： $\Delta t_1^i = t_1^i - t_0^i$ ， $\Delta t_2^i = t_2^i - t_0^i$ ， $\Delta t_3^i = t_3^i - t_0^i$ ， $\Delta t_1^i, \Delta t_2^i$ 和 Δt_3^i 分别为从 S 发出信号到收到 A, B, C 的回复信号的时间间隔。在测得 $\Delta t_a^i, \Delta t_b^i, \Delta t_c^i$ 和 $\Delta t_1^i, \Delta t_2^i, \Delta t_3^i$ 后，得到 S 发出的信号分别到达 A, B, C 的传播时间： $t_{sa}^i = \frac{\Delta t_1^i - \Delta t_a^i}{2}$ ， $t_{sb}^i = \frac{\Delta t_2^i - \Delta t_b^i}{2}$ ，

$t_{sc}^i = \frac{\Delta t_3^i - \Delta t_c^i}{2}$ ，将 M 个周期测量的结果平均，可以得到：

$$t_{sa} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M t_{sa}^i \quad (1)$$

$$t_{sb} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M t_{sb}^i \quad (2)$$

$$t_{sc} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M t_{sc}^i \quad (3)$$

因此，

$$d_{sa} = t_{sa} \cdot v \quad (4)$$

$$d_{sb} = t_{sb} \cdot v \quad (5)$$

$$d_{sc} = t_{sc} \cdot v \quad (6)$$

方程转化为

$$(x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = d_{sa}^2 \quad (7)$$

$$(x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 = d_{sb}^2 \quad (8)$$

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = d_{sc}^2 \quad (9)$$

将式(8)和式(9)分别和式(7)相减得

$$2(x_a - x_b)x + 2(y_a - y_b)y = d_{sb}^2 - d_{sa}^2 - x_b^2 - y_b^2 + x_a^2 + y_a^2 \quad (10)$$

$$2(x_a - x_c)x + 2(y_a - y_c)y = d_{sc}^2 - d_{sa}^2 - x_c^2 - y_c^2 + x_a^2 + y_a^2 \quad (11)$$

将方程组表达成矩阵形式：

$$A \cdot X = B \quad (12)$$

其中，

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_a - x_b) & 2(y_a - y_b) \\ 2(x_a - x_c) & 2(y_a - y_c) \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} d_{sb}^2 - d_{sa}^2 - x_b^2 - y_b^2 + x_a^2 + y_a^2 \\ d_{sc}^2 - d_{sa}^2 - x_c^2 - y_c^2 + x_a^2 + y_a^2 \end{bmatrix}$$

下面求解方程组。因为3个锚节点不在同一条直线上，所以 A 为满秩矩阵，得到节点 S 的坐标为

$$\hat{X} = A^{-1}B \quad (13)$$

至此，整个定位过程结束。算法至少需要3个锚节点，当有多个锚节点 (> 3) 时，可用极大似然法计算节点坐标^[1]。

3.3 误差原因分析

从上面的定位过程可以看出，在第 i 个周期，改进算法需要测量 $\Delta t_a^i, \Delta t_b^i, \Delta t_c^i, \Delta t_1^i, \Delta t_2^i$ 和 Δt_3^i 。对它们的测量存在着误差，误差的产生主要有以下3个原因：节点接收系统时延，无线多径衰落信道，非视距传播。

节点接收系统时延是指从信号到达节点接收天线到信号被接收系统精确解调所用的时间，这个时间通常是定值或者在一个很小的范围内变化。系统时延可以预先确定并用来校正测量值。因此， A, B, C 在向 S 发送回复并传递 $\Delta t_a^i, \Delta t_b^i, \Delta t_c^i$ 前可以通过校正来消除系统时延的影响。 $\Delta t_1^i, \Delta t_2^i$ 和 Δt_3^i 是在同一个节点 S 上得到的，同样可以通过校正来消除接收系统时延的影响。

无线多径衰落信道在很大程度上影响定位的准确性。多径信号有2个重要特点：

(1) 由于两点之间直线最短，因此沿非直接路径传播的信号比沿直接路径传播的信号晚到达节点接收天线。

(2) 在视距传播模型中，通常传播的路径越长，信号的衰减越大，沿非直接路径传播的多径信号比沿直接路径传播的信号强度弱。

要减轻非视距传播的影响，可以将节点架高以实现节点之间的视距通信。

由于节点接收系统时延引起的测量误差可通过校正来消除，因此导致测量误差的主要原因是多径衰落信道和非视距传播，此外还有各种环境因素的影响，这些都称为随机噪声。

4 仿真结果

从定位过程可以看出，计算目标节点 S 的坐标 (x, y) 需要 t_{sa}, t_{sb}, t_{sc} ，而 t_{sa}, t_{sb}, t_{sc} 的值由定位过程中 S 发送的总周期数 M 以及每个周期中测量得到的时间值决定，即 $\Delta t_1^i, \Delta t_2^i, \Delta t_3^i, \Delta t_a^i, \Delta t_b^i, \Delta t_c^i$ 。因此， S 的定位误差来源于时间值 $\Delta t_1^i, \Delta t_2^i, \Delta t_3^i$ 和 $\Delta t_a^i, \Delta t_b^i, \Delta t_c^i$ 的测量误差。由于节点接收系统的时延对测量误差的影响可以通过校正来消除，因此本文的仿真仅考虑 $\Delta t_1^i, \Delta t_2^i$ 和 Δt_3^i 的测量误差。测量误差的分布服从均值为0、方差为 σ^2 的正态分布^[4]。

假设锚节点 A, B, C 的位置分别为 $(0, 0), (30, 0)$ 和 $(0, 30)$ 。在 x, y 的取值范围为 $(0, 30)$ 的方形区域内随机选择目标节点，每个目标节点进行5次定位实验，总周期数 $M = 8$ ，测量的误差服从方差为 $\sigma^2 = 1$ 的正态分布，定位结果如图5所示。

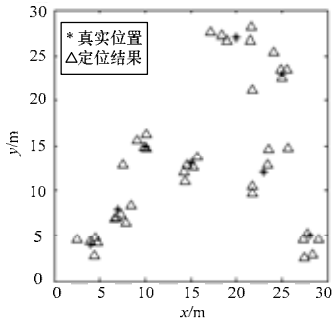


图5 定位结果

将改进算法和现有的 TOA 定位算法进行仿真对比,假定现有的 TOA 定位算法中节点之间是时间同步的,到达时间的测量误差和本文算法的测量误差服从相同的分布。图 6 为测量误差服从正态分布的情况下,算法定位性能的比较。不失一般性,在监控区域内随机选择 10 000 个目标节点,将定位结果的误差进行平均。对于改进算法, M 取 4, 8, 16, 32, 64。

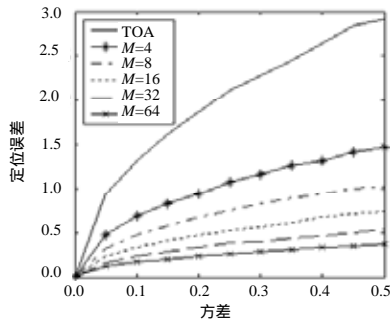


图6 方差与定位误差关系图

从图 6 中可以看出,在不考虑同步的情况下,改进算法的性能明显优于现有的时差定位算法;方差 σ^2 越大,测量误差越大;对于改进算法,方差 σ^2 相同, M 值越大,测量误

差越小。

理论分析如下:改进算法采用接收节点回复时间信息的方式降低对节点间的时间同步的要求,采用多次测量取平均的方法降低了随机噪声的影响,因此,性能优于现有的时差定位算法。 σ^2 越大,相应得到的 S 的坐标 (x, y) 的误差也越大,导致测量误差越大;对于改进算法, M 值越大,测量误差对定位的影响越小,定位结果越准确,从而测量误差越小。仿真结果和理论分析一致。在实际应用中, M 值的选择与系统要求的定位精度和随机噪声有关。

5 结束语

本文针对现有 TOA 定位算法中存在的不足,从消除同步要求、减小随机噪声 2 个方面出发提出了改进的算法,降低了对节点间时间同步的要求,提高了定位精度。分析了误差产生的主要原因,通过仿真将改进算法和现有算法进行了性能对比,仿真结果和理论分析结果一致,改进算法明显优于现有算法。

参考文献

- [1] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 马祖长, 孙怡宁. 无线传感器网络节点的定位算法[J]. 计算机工程, 2004, 30(7): 13-14.
- [3] Chen Hongyang, Deng Ping, Xu Yongjun, et al. A Robust Location Algorithm with Biased Extended Kalman Filtering of TDOA Data for Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of WCNM'05. Wuhan, China: IEEE Press, 2005.
- [4] Cheng Xiuzhen, Tbaeler A, Xue Guoliang, et al. TPS: A Time-based Positioning Scheme for Outdoor Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM'04. Hong Kong, China: [s. n.], 2004: 2685-2696.

编辑 张帆

(上接第 122 页)

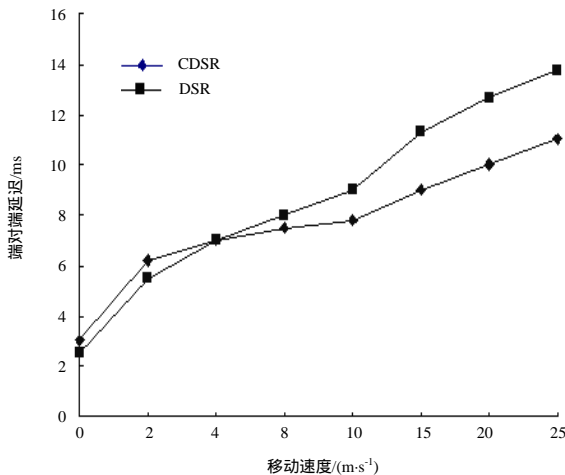


图6 端对端延迟

4 结束语

本文提出一种移动自组网中有机融合层次和非对等节点的按需层次路由协议。该协议改进了 DSR 协议对中心节点非

对等网络环境的支持问题,分层策略缩短了数据发送的路由长度、减少了节点路由处理难度频度及控制信息开销占用率,从而提高了网络整体性能。仿真试验对比表明,该协议可提高移动终端节点的处理效率、带宽的利用率,同时降低通信的路由长度、控制开销、端对端延迟。

参考文献

- [1] 王金龙, 王呈贵. Ad Hoc 移动无线网络[M]. 北京: 国防科学出版社, 2004.
- [2] 李冰, 金志刚, 张明. MANET 分簇节点组通信功能的设计与实现[J]. 计算机工程, 2008, 34(19): 98-100.
- [3] Perkins C E, Bhagwat P. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector Routing(DSDV) for Mobile Computer[C]//Proc. of SIGCOMM'94. London, UK: ACM Press, 1994.
- [4] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.

编辑 金胡考

