

一种无线传感器网络的节点自定位方法

匡林爱^{1,2}, 蔡自兴¹

(1. 中南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410083; 2. 湘潭大学 信息工程学院, 湖南 湘潭 411105)

(lin_ai@163.com)

摘要:节点定位对许多无线传感器网络的应用来说是非常关键的,提出了一种基于移动锚节点的无测距的节点定位算法。此算法建立在 Monte Carlo 定位算法基础之上,通过利用节点收集到的信息来加速算法中样本的选取,从而提高定位的精度和效率。仿真结果表明,此节点定位技术平均定位精度能达到 0.2 个通信半径,与其他类似定位技术相比,能够明显提高节点定位精度。

关键词:无线传感器网络;蒙特卡罗定位;移动锚节点

中图分类号: TP393.05 **文献标志码:** A

Node self-location for wireless sensor network

KUANG Lin-ai^{1,2}, CAI Zi-xing¹

(1. College of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083, China;

2. College of Information and Engineering, Xiangtan University, Xiangtan Hunan 411105, China)

Abstract: Localization is crucial to many applications in wireless sensor networks. This article presented a range-free anchor-based localization algorithm for wireless sensor networks that built upon the Monte Carlo Localization algorithm. We improved the localization accuracy and efficiency by making better use of the information a sensor node gathers and by drawing the necessary location samples faster. Simulation results show that localization accuracy of all nodes is one of fifth of communications radii.

Key words: wireless sensor networks; monte carlo localization; mobile anchor

0 引言

节点定位技术是无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)中的关键技术,许多无线传感器网络的应用都依赖于节点的位置信息,比如环境监控、交通工具的跟踪与建图、灾难救援等^[1]。然而,通过给每个节点安装全球定位系统(Global Position System, GPS)接收器或手动配置节点的位置对大多数的传感器网络的应用来说是非常昂贵的,或是不现实的,其主要原因有:1)节点能量、体积有限,不适合装备 GPS 接收机;2)GPS 接收器只能在室外环境,并且需要能接收到卫星信号;3)手工部署节点无法实现,比如在敌方阵地上部署节点。

当前,已有很多传感器网络节点自身定位方法的研究成果。文献[1-3,5]是针对移动无线传感器网络的节点定位,其中,文献[1]首次将应用于移动机器人定位的顺序蒙特卡罗定位算法引入到移动无线传感器网络的节点定位;文献[2]通过限定样本的采样范围对文献[1]所提出的算法进行了改进,提出了 MCB 算法;文献[3]通过对原始 MCL 算法的预测和过滤过程进行改进,提出了 Dual-MCL 和 Mixer-MCL 算法。文献[6,7,9,10]主要是通过引入移动锚节点来解决静止普通节点的定位问题。而文献[4,8]所提方法既适合移动网络,也适合静止网络,其中,文献[4]通过引入节点的运动噪音,提出了无线静态传感器定位(Mobile and Static sensor network Localization, MSL)算法,将 MCL 首次应用于静止的无线传感器网络的节点定位。

本文受 MSL 算法的启发,针对锚节点可移动,其他普通节点静止的无线传感器网络,提出了累计观测值(Accumulated Observations-MCL, AO-MCL)算法, AO-MCL 算法利用了静止无线传感器网络中已发布的锚节点的位置信息永久有效的特点,通过改进样本的权重计算方法和位置信息的发布范围,达到高效定位的目的。仿真结果表明,算法有效提高了定位效率和精度,极大地减少了节点能量的使用。

1 Monte Carlo 定位算法

1.1 原始的 MCL 算法

移动传感器网络的定位问题可以描述成如下的状态空间系统,以 $t = \{1, 2, 3, \dots\}$ 表示离散时间,以 l_t 表示节点在时刻 t 的位置分布,以 o_t 表示在时刻 $t-1$ 到时刻 t 之间从锚节点接收到的观测值,变迁公式(运动模型) $p(l_t | l_{t-1})$ 描述了节点基于前一时刻位置对当前时刻位置的预测,观测公式 $p(o_t | l_t)$ 描述了节点在给定的锚节点位置信息时在位置 l_t 的概率。一个由 M 个样本组成的集合 L_t 用于表示 l_t 的分布,算法在每个时间步内递归计算样本集,由于 L_{t-1} 反映了所有以前的观测,因此算法可以只根据 L_{t-1} 和 o_t 就可以计算 l_t 。

算法由三个步骤组成:1)初始化。从整个网络范围内随机选择 M 个样本点。2)预测。根据运动模型,预测样本的下一位置。3)过滤。根据观测信息过滤样本,如果剩余的合法样本数少于 M 个,则进行重采样操作。在原始 MCL 算法中,使用了两跳锚节点的信息对样本进行过滤,以集合 S 表示节点 N 的所有一跳锚节点,以集合 T 表示节点 N 的所有两跳锚节点,即

收稿日期:2007-08-17;修回日期:2007-10-15。 基金项目:国家基础研究资助项目(A1420060159)。

作者简介:匡林爱(1974-),男,湖南邵东人,讲师,博士研究生,主要研究方向:人工智能、无线传感器网络; 蔡自兴(1938-),男,福建莆田人,教授,博士生导师,主要研究方向:人工智能、机器人学、智能系统。

S 内的锚节点都是 N 的直接邻居, T 内的锚节点不是 N 的直接邻居, 但是是 S 的直接邻居, 则 l 的过滤条件为 $filter(l) = \forall s \in S, d(l, s) \leq r \wedge \forall s \in T, r < d(l, s) \leq 2r$, 其中 r 表示节点的通信半径, $d(l, s)$ 表示样本 l 和锚节点 s 之间的欧氏距离, 当过滤条件不满足时, $p(l_i | o_i)$ 的值为 0, 否则就是一个均匀分布。

在文献[1]中使用了下面的运动模型:

$$p(l_i | l_{i-1}) = \begin{cases} \frac{1}{\pi v_{\max}^2}, & d(l_i, l_{i-1}) < v_{\max} \\ 0, & d(l_i, l_{i-1}) \geq v_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

其中, v_{\max} 表示节点的最大运动速度, $d(l_i, l_{i-1})$ 表示两个位置 l_i 和 l_{i-1} 之间的欧氏距离。这个运动模型只适用于动态无线传感器网络的节点。

1.2 适用静态 WSN 的 MCL 算法

文献[4]通过增加运动噪音, 将式(1)修改成如下形式:

$$p(l_i | l_{i-1}) = \begin{cases} \frac{1}{\pi(v_{\max} + \alpha)^2}, & d(l_i, l_{i-1}) < v_{\max} \\ 0, & d(l_i, l_{i-1}) \geq v_{\max} \end{cases} \quad (2)$$

其中, α 用于表示运动噪音, 引入 α 后, 当节点是静止时也能实现对样本点的预测, 因此可以实现对静止的 WSN 中的节点的定位。但 α 的选择对算法的性能影响很大, α 过大时将增加在定位估计时的非必然性, α 过小时又不能在选择样本时提供足够的变化, 文献[4]根据试验选取 α 的值为 $0.1r$ 。

在 MSL 算法中, 节点的权重是所有一跳和两跳邻居权重的乘积, 也就是说只要有一个不满足过滤条件, 这个样本就不会被选择, 这对有效样本的选择有比较大的限制, 通常要进行多次采样才能得到一个合法样本。在 MSL 算法中, 不仅锚节点需要在两跳范围内广播自己的位置信息和转发其他节点的位置信息, 普通节点同样需要在两跳范围内广播自己的位置信息和转发其他节点的位置信息, 这是一种通信量极大的操作, 对能量有限的普通节点来说, 这种操作的代价是很昂贵的。

2 AO-MCL 算法

本文根据静态无线传感器网络中接收到的锚节点位置信息永久有效的特点, 针对 MSL 算法的问题, 提出了 AO-MCL 算法。AO-MCL 算法只利用了两跳以内的锚节点的信息, 不需要普通节点的信息; 同时, 也只有锚节点参与转发信息, 普通节点不再参与信息的转发, 只是被动地接收锚节点信息, 这样做将极大地降低节点能量的使用, 延长了节点的生命期。

AO-MCL 算法在初始化时不再从整个网络中随机采样, 而是当节点收到一跳锚节点的位置信息后才初始化, 这样做的好处是可以提高有效样本的采样效率, 但其缺点是节点的定位稍有滞后。

在 AO-MCL 算法中, 我们采用了式(2)作为运动模型进行采样, 采样后, 样本根据收集到的锚信息进行权重的计算, 由于普通节点静止的特点, 对在 t 时刻以前接收到的所有观测值都可看作是 $t-1$ 时刻到 t 时刻接收到的观测值, 因此样本权重的计算过程如下, 以 $w_s(p)$ 表示节点 p 的样本 s 的权重, 计算公式如下:

$$w_s(p) = \sum_{q=1}^k w'_s(q) \quad (3)$$

k 表示所有的一跳锚节点和两跳锚节点的个数, q 表示一跳锚

节点或两跳锚节点, $w'_s(q)$ 表示锚节点的部分权重。对于一跳锚节点, 其部分权重的计算公式如下:

$$w'_s(q) = \begin{cases} 1, & d(s, q) \leq r \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

对于两跳锚节点, 其部分权重计算公式如下:

$$w'_s(q) = \begin{cases} 1, & r \leq d(s, q) \leq 2r \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

利用式(3)计算出每个样本的权重后, 还需要对权重进行归一化, 使得所有样本的总权重值为 1。因此, 对于节点 p 的 M 个样本, 其第 i 个样本归一化为: $w_i(p) / \left[\sum_{j=1}^M w_j(p) \right]$ 。

算法的最后一步是重采样, 重采样的主要目的是减少权重小的样本而保留权重大的样本。在这步中, 我们采用的方法是, 首先找出所有最大权重的样本, 再淘汰权重值小于阈值 β 的样本, 在淘汰样本时, 在所有最大权重的样本中随机选取一个替代权重小的样本。阈值 β 在试验中设置成 $1/M$ 。

3 算法的性能仿真分析

在这节中, 我们比较了本文所提算法和 MSL 算法在锚节点可移动、其他节点静止的无线传感器网络节点定位的性能, 算法的实现是基于 NS-2 网络仿真平台的。在所有的仿真过程中, 全部节点初始时都随机分布在一个无障碍的 $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ 的矩形区域中, 所有节点的传输范围都是理想的圆, 半径 r 设定为 100 m 。仿真时间为 100 个时间单位。初始时锚节点随机分布在整个区域中, 其运动模型采用随机 Waypoint 运动模型, 到达目的地后的停留时间为 0。节点密度 n_d 取 10, 锚密度 s_d 取 1。信息在网络中传播时可能会产生冲突, 但冲突后不重发信息。

3.1 精确性分析

图 1 和图 2 显示了锚节点在不同最大速度时的定位精度。精度单位以通信半径作参考。

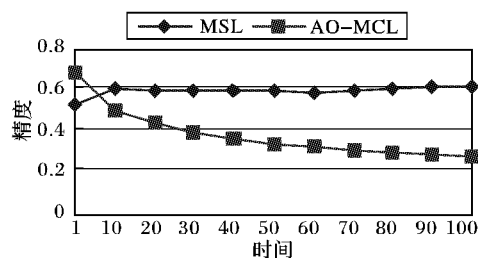


图1 精度比较 ($v_{\max} = 0.1r$)

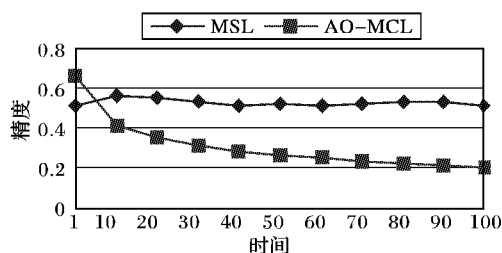


图2 精度比较 ($v_{\max} = 0.2r$)

从图 1 和图 2 可以看出 AO-MCL 算法的定位精度比 MSL 定位的精度高, 可以达到 $0.2r$ 以下, 并且 AO-MCL 算法随时间推移精度逐渐提高。这是因为随时间的推移, 节点接收到的锚信息越来越多, 样本点的约束也越来越多, 样本点逐渐向

节点的真实位置靠拢。而在MSL算法中,样本点的选择只依赖当前时刻接收的锚信息,也就意味着其约束条件并没有变严格,并且在MSL算法中当上一次采用的合法样本数为0时,在下一轮将重新初始化采样。

3.2 能量消耗分析

在无线传感器网络中,节点的能量主要消耗在数据的收发上,因此减少数据包的收发操作将节省能量的使用,延长节点的生命期。从图3可以看出在MSL算法中,节点接收和转发包的数量随时间增加很快,AO-MCL算法接收转发包的数目增加很慢。这是因为在MSL算法中,不仅锚节点广播包,而且普通节点也需要广播包,因此包的总数增多;而在AO-MCL算法中,只有锚节点广播包,普通节点不参与转发包,所以包的数量较少。从图可以看出,AO-MCL算法收发包的数量是MSL算法的1/30,也就是说AO-MCL算法比MSL算法节省了29/30的能量,这对于能量有限的传感器节点来说,是很有意义的。

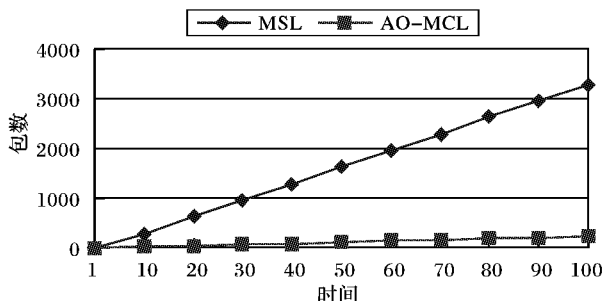


图3 能量消耗比较

由于AO-MCL算法需要存储当前时刻以前的所有观测值,因此它比MSL算法需要更多的空间,但是从接收包的数量上来说,如图3所示,平均每个节点只接收了100多个包,也就是100多个位置信息,这对于存储空间的消耗也并不是不可承受的。

4 结语

本文根据锚节点可移动、普通节点静止的无线传感器网络的特点,提出了累积观测值信息的MCL定位算法,算法改善了整个定位处理过程;最为重要的是,由于减少了普通节点

对信息的收发,极大地节省了节点的能量使用,延长了节点的生命期。仿真结果表明本文提出的AO-MCL算法比MSL算法有更好的定位精度,更好地节省了节点能量的使用。

参考文献:

- [1] HU L, EVANS D. Localization for mobile sensor networks[C]// 10th International Conference on Mobile Computing and Networking. Philadelphia: ACM Press, 2004: 45 - 57.
- [2] BAGGIO A, LANGENDOEN K. Monte-carlo localization for mobile wireless sensor networks[C]// 2nd International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN 2006). Hong Kong: Springer-Verlag Press, 2006: 317 - 328.
- [3] ENRIQUE S N, VICEKANANDAN V, WONG W S V. Dual and mixture monte carlo localization algorithms for mobile wireless sensor networks [C]// IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Hong Kong: IEEE Press, 2007: 317 - 328.
- [4] RUDAFSHANI M, DATTA S. Localization in wireless ad hoc sensor networks[C]// International Conference on Information Processing in Sensor Networks. Cambridge: ACM Press, 2007: 51 - 60.
- [5] HE T, HUANG C D, BLUM B M, et al. Range - free localization schemes in large scale sensor networks[C]// the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. San Diego: ACM Press, 2003: 81 - 95.
- [6] SUN G L, GUO W. Comparison of distributed localization algorithms for sensor network with a mobile beacon[C]// 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. Taipei: IEEE Press, 2004: 536 - 540.
- [7] GALSTYAN A, KRISHNAMACHARI B, LERMAN K, et al. Distributed online localization in sensor networks using a mobile target [C]// International Symposium on Information Processing Sensor Networks. California: ACM Press, 2004: 61 - 70.
- [8] DATTA S, KLINOWSKI C, RUDAFSHANI M. Distributed localization in static and mobile sensor networks[C]// IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications. [S. l.]: IEEE Press, 2006: 69 - 76.
- [9] 石为人, 许磊, 徐扬生. 一种基于移动锚节点的静态无线传感器网络定位算法[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(3): 385 - 393.
- [10] 张正勇, 孙智, 王刚, 等. 基于移动锚节点的无线传感器网络节点定位[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(4): 534 - 537.

(上接第341页)

传算法寻优能力和收敛速度并不是很理想的不足,本文将免疫算法和K-均值算法相结合,利用免疫算法的全局收敛性及K-均值算法强大的局部寻优能力,提出了一种基于混合免疫算法的VQ码本设计方法。另外,算法还采用了小生境技术、免疫接种算子及改进的变异算子来进一步优化算法的性能。利用本方法进行说话人识别系统实验,对说话人的训练语音进行聚类分析,产生的聚类中心作为说话人的模型参数,在聚类中心数分别为16、32、64时,均得到较好的识别结果,优于传统LBG和混合遗传算法,大大改善了说话人识别系统的识别性能。

参考文献:

- [1] SOONG F. A vector quantization approach to speaker recognition [J]. IEEE ICASSP, 1993, 26(9): 1357 - 1361.
- [2] 林琳, 王树勋. 基于遗传-模糊聚类的说话人识别方法及其仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(8): 2338 - 2341.

- [3] 芮贤义, 俞一彪. 采用遗传算法的VQ码本设计及说话人识别[J]. 信号处理, 2005, 21(3): 289 - 292.
- [4] 王金明, 李恩波. 基于GA/VQ的说话人辨认的研究与实现[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2005, 6(3): 214 - 218.
- [5] DASGUPTA D, ATTOH OKINE N. Immunity based systems: a survey[C]// Proceeding of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Orlando: IEEE, 1997: 369 - 374.
- [6] De CASTRO L N, Von ZUBEN F J. Learning and optimization using the clonal selection principle[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Special Issue on Artificial Immune Systems, 2002, 6(3): 239 - 251.
- [7] 王磊, 潘进, 焦李成. 免疫算法[J]. 电子学报, 2000, 28(7): 74 - 78.
- [8] 郭观七, 喻寿益. 小生态进化技术综述[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(4): 857 - 861.
- [9] 凌军, 曹阳. 基于小生境技术的多样性抗体生成算法[J]. 电子学报, 2003, 31(8): 1130 - 1133.