

基于 Voronoi 图的无需测距的无线传感器网络节点定位算法

王继春 黄刘生 徐宏力 徐 李善亮

(中国科学技术大学计算机科学与技术系 合肥 230027)

(jichunw@mail.ustc.edu.cn)

A Novel Range Free Localization Scheme Based on Voronoi Diagrams in Wireless Sensor Networks

Wang Jichun, Huang Liusheng, Xu Hongli, Xu Ben, and Li Shanliang

(Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

Abstract Recently, the topic of wireless sensor networks has become a fast-growing research area. In wireless sensor networks, sensor location plays a crucial role in many applications. The global positioning system (GPS) solves the problem of localization in outdoor environments, but it is not suitable for wireless sensor networks. Having a GPS receiver on every sensor is always costly and not feasible. So, in the past, there are many localization procedures have been proposed in the literature. In this paper, a distributed, accurate and reliable Voronoi diagrams based localization scheme (VBLS) is introduced, which makes use of received signal strength indicator (RSSI) from anchors. First, VBLS sorts received signal strength indicator in descending order. Then unit disk graph is used to calculate the Voronoi area of anchors in turn. Finally, the overlapping region of different anchors' Voronoi area is identified as the possible region where sensor resides in. This work is compared via simulation with two other range-free localization schemes (W-Centroid and Centroid) to show the efficiency of VBLS. For random anchor placement, VBLS outperforms Centroid scheme and W-Centroid scheme significantly, estimation error decreases by 18% and 13%, respectively. For uniform anchor placement, VBLS gets a gain of 7% decrease and 2% increase of estimation error, respectively.

Key words localization; wireless sensor networks; Voronoi diagram; RSSI; range-free

摘要 将 Voronoi 图应用于无线传感器网络定位问题中,提出了 VBLS (Voronoi diagrams based localization scheme) 定位算法. 它首先对接收到的 anchor 节点的接收信号强度 (RSSI) 从大到小进行排序, 然后利用 UDG 图依次计算每个 anchor 节点的 Voronoi 区域, 最后将所有 Voronoi 区域交集的质心输出作为定位结果. 通过仿真将 VBLS 和另外两种无需测距的定位算法 (W-Centroid 和 Centroid) 进行了比较. 仿真结果表明, 对于 anchor 节点随机摆放的情况, VBLS 的定位误差比 Centroid 和 W-Centroid 分别降低了 18% 和 13%; 对于 anchor 节点均匀摆放的情况, VBLS 的定位误差比 Centroid 降低了 7%, 比 W-Centroid 增加了 2%.

关键词 节点定位; 无线传感器网络; Voronoi 图; 接收信号强度; 无需测距

中图法分类号 TP393

无线传感器网络是由大量结构简单、廉价的传感器集成无线通信接口所组成,它在环境监测、灾难救助、目标跟踪等领域都有广泛的应用前景.在这些众多的应用中,传感节点自我定位非常重要.到目前为止,为了解决定位问题出现了很多不同的算法.这些算法主要可以分为两大类:基于测距的和无需测距的.

基于测距的算法主要有以下几种:TOA(time of arrival),TDOA(time difference of arrival),AOA(angle of arrival)和基于RSSI.基于TOA技术定位最典型的例子就是GPS^[1]系统,GPS系统通过测量GPS接收器和卫星之间的信号传输时间来估算接收器和卫星之间的距离进行定位.基于TDOA方法定位的比如AHLos^[2]算法,TDOA通常通过测量2种速度不同的信号传输时间差来计算节点之间的距离,TDOA通常需要节点上附加特殊的信号收发设备(如超声波收发器等).AOA^[3]的方法测量信号的到达角度,通过计算扇形之间的重叠区域进行节点定位.和TDOA的方法一样,AOA也需要节点附加特殊的设备(如有向天线).基于RSSI定位的系统比如RADAR^[4]和MoteTrack^[5]先对环境中的信号强度进行抽样,然后将定位时接收到的信号强度和先验的信号强度进行匹配得到定位结果.这种定位方式只能应用于静态的环境,如环境发生变化先验知识就不再有参考价值.

由于基于测距的方法通常都需要特殊的设备,或者像基于RSSI的定位受环境影响很大,所以出现了很多无需测距的定位算法,比如Bulusu等人提出的质心(Centroid^[6])算法.定位节点收集能够和自己通信的所有anchor节点的信息,然后计算这些anchor节点的质心作为自己的位置,Centroid利用节点之间的连通性进行定位. Shen等人提出的加权质心(W-Centroid^[7])算法对于质心算法进行了改进.W-Centroid将接收信号强度作为计算质心时的权重系数加以考虑从而提高质心算法的性能. DV-hop^[8]是另外一种无需测距的定位算法,它利用最小跳数进行定位.在DV-hop算法中,传感器节点维护一个自身到其他anchor的最小跳数表,然后利用每个anchor计算得出的平均每跳距离就可以计算出节点到anchor之间的距离,然后利用三角定位法就可以得出定位结果.APIT^[9]是利用三角形区域相交进行定位的算法,APIT将传感器节点的邻居anchor节点做不同的组合得到不同的三角形,然后判断传感器节点是否在三角形的内部,通过这些

三角形之间的交集就可以判断传感器节点的位置.肖玲等人提出了基于非度量的多维标度技术的定位算法(NMDS^[10]),NMDS基于节点RSSI和节点距离之间的单调关系,利用RSSI值构建相异性矩阵,然后对相异性矩阵进行反复迭代计算得到定位结果.

考察上述所有的定位算法,我们认为一个好的定位算法至少要满足以下几个条件:第1,定位算法必须是分布式的,在一个大型的无线传感器网络中,收集全局的信息是非常困难的,而且如果采用集中式的算法,靠近基站的节点由于要承担过多的转发任务将会成为网络的瓶颈;第2,定位算法的消息复杂度不能过高,因为在无线传感器网络中,节点之间的消息传递是能量耗费的主要方面;第3,定位系统必须有一定的容错性,因为传感器节点通常放置在无人看管的区域,由于恶劣的环境或者能量不足很容易出现故障,所以定位系统必须健壮,小部分节点故障不能影响到整个系统的功能.本文提出的VBLS算法满足上述所有的条件.

1 VBLS 定位算法

本文提出的VBLS定位算法利用接收信号强度的信息进行定位,按照接收信号强度的大小依次计算每个anchor的Voronoi区域,然后求出这些区域的交集作为定位的结果,如图1所示:

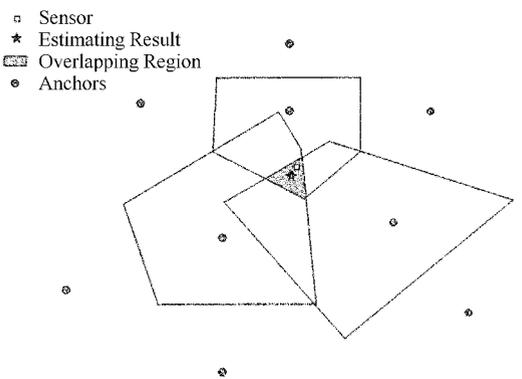


Fig. 1 Voronoi-based algorithm overview.

图1 基于Voronoi图定位算法演示

1.1 信号传输模型

目前主要存在3种信号传播模型:Free-space模型、Two-ray ground reflection模型和shadowing模型. Free-space模型和Two-ray ground reflection模型都认为接收信号的能量是距离的一个确定函数,因此它们的信号传输模型都是一个理想圆.但是由于多路径反射、障碍物阻隔等原因,实际的环境中信

号传输往往是各向异性的. 因此更为一般化的 Shadowing 模型使用更加广泛, Shadowing 模型的表示如下:

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{dB}, \quad (1)$$

其中 X_{dB} 是一个平均值为 0 的高斯分布变量, β 为路径损耗系数(path loss exponent), $P_r(d_0)$ 和 d_0 分别是参考能量和参考距离. Shadowing 模型将环境噪声引入到接收信号能量的衡量中, 因此更加实用化. 观察 Shadowing 传输模型, 我们可以得出以下结论: 在不考虑环境噪声的情况下, 接收信号强度 $P_r(d)$ 是一个随距离 d 增加单调递减的函数.

1.2 定位模型的阐述

在本文中我们将整个无线传感器网络建模为一个连通的无向图 $G=(V, E)$, 其中 V 为空间中所有传感器节点的集合, E 为连接所有相邻传感器的边的集合. 我们令集合 $A(A \subset V)$ 为所有 anchor 节点的集合, 这些节点都知道自身的位置, $S=V-A$ 为所有待定位的节点集合.

假定传感器节点 $S_i \in S$ 想要确定自身的位置, 此时我们假设它能得到周围 $K(1 \leq k \leq |A|)$ 个 anchor 节点的 RSSI 值, 这些 anchor 节点的接收信号强度分别表示为 $RSSI_{i-j_1}, RSSI_{i-j_2}, \dots, RSSI_{i-j_k}$, 不失一般性可以假设 $RSSI_{i-j_1} \geq RSSI_{i-j_2} \geq \dots \geq RSSI_{i-j_k}$. 参考上节提出的在理想情况下, $P_r(d)$ 随 d 单调递减的结论, 我们可以得到定位问题的如下数学表示:

寻找空间中的一个点集, 集合中的每个点 (x, y) 满足如下条件:

$$0 < L_{i-j_1} \leq L_{i-j_2} \leq \dots \leq L_{i-j_k} \leq R, \quad (2)$$

其中, $L_{i-j_x}(1 \leq x \leq k)$ 表示点 (x, y) 到 anchor 节点 j_x 之间的欧几里德距离, R 为节点的通信半径(我们假设所有节点都是同类型的, 拥有同样的通信半径). 我们采用 Voronoi 图解不等式 (2).

定义 1. Voronoi 图指的是给定空间的一个点集, 平面可以被划分为距离各个点最近的一系列不相交的凸多边形的集合, 这些凸多边形分别和点集中的每个点相对应, 称之为该点的 Voronoi 区域, 如图 2 所示.

对应于上述的不等式我们可以知道, 点集合为 anchor 集合 A . 根据 Voronoi 区域的定义可知, 一开始传感器节点 S_i 位于 j_1 的 Voronoi 区域. 此时若将

j_1 从集合 A 中除去, 可以知道在剩下的所有节点中传感器节点 S_i 距离 j_2 最近, 所以此时 S_i 位于 j_2 的 Voronoi 区域中, 我们可以反复进行这个过程直到 K 个 anchor 节点的 Voronoi 区域全部计算完成, 此时计算这些 Voronoi 区域的交集即为定位算法输出的结果.

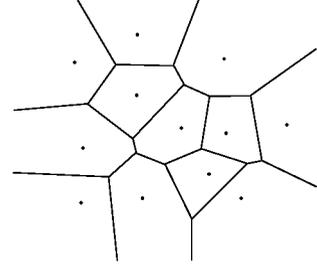


Fig. 2 An example of Voronoi diagrams.

图 2 二维空间的 Voronoi 划分

1.3 VBLS 算法描述

因为在一个完全图中计算节点的 Voronoi 区域需要整个图的全局信息, 所以上面所描述的定位方法是集中式的. 幸运的是在单位圆图(unit disk graph)上计算节点的 Voronoi 区域可以分布式进行. 在图 3 中我们比较了采用完全图和单位圆图得到的定位结果, 可以看出相比于完全图, 采用单位圆图在定位精度上的损失并不大.

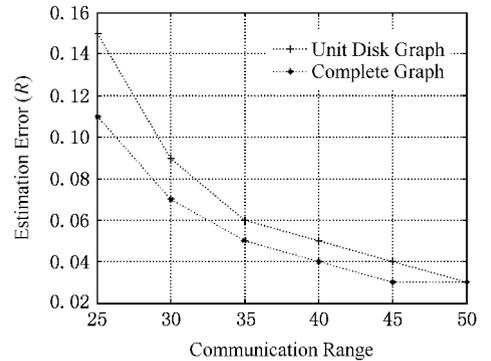


Fig. 3 Estimation error based unit disk graph and complete graph. $AD=0.0025$, $DON=0.1$, $EF=0.1$.

图 3 完全图和 UDG 图的定位误差比较

定义 2. 对于所有 anchor 节点集合 A 的单位圆图 $UDG(A)$, $UDG(A)$ 中存在一条边 $uv(u, v \in A)$, 当且仅当 u, v 之间的欧几里德距离小于通信半径 R .

为了得到集合 A 的单位圆图, 集合 A 中的每个节点必须维护一个一跳邻居表, 如表 2 所示. 每一个 anchor 节点定期地向周围节点发送包含自身

坐标的广播包,其他 anchor 接收到该广播包并且更新自身的一跳邻居表. 通过这种方式,那些由于能量耗尽或者出故障而不再工作的 anchor 节点就能被及时地发现,因为它们的错误使得定位出错的可能就会避免. 所以 VBLS 是健壮的,少数 anchor 节点故障不会影响到整个系统正确的进行定位.

整个算法的流程如下:

- ① 传感器节点 S_i 向周围广播一个 Request 消息,向邻居 anchor 要求定位信息.
- ② 所有接收到 Request 消息的 anchor,回复一个 Reply 消息,该消息包含 anchor 节点自身的位置以及该 anchor 节点的一跳邻居表.
- ③ 传感器节点 S_i 接收完所有邻居 anchor 的 Reply 消息, S_i 就对所有这些 anchor 节点按接收信号强度进行从大到小排列,如表 1 所示.
- ④ 程序主要部分如下:

Receive Reply messages from m anchors

For $j = 1$ to m

Calculate Voronoi area V_{ij} of anchor $T_i[j]$

AddVoronoi(V_{ij})/* 对于 Voronoi 区域内所有的点增加权重,权重的值为该 anchor 的接收信号强度 */

For $k = j + 1$ to m

Remove $T_i[j]$ from $T_i[k]$'s one-hop neighbors table

End for

End for

⑤ 计算所有拥有最大权重的点的质心,将该质心作为定位结果输出.

上述的流程我们可以看出,一次定位需要的消息数为 $(m + 1)$,其中 m 为传感器节点的 anchor 邻居数. 考虑到所有 Voronoi 图相交之后可能出现空集的情况,我们采用给每个 Voronoi 区域增加权重的方法,权重的数值就是对应 anchor 节点的接收信号强度. 最后选出所有最大权重的点计算它们的质心得到定位结果,采用这种方法可以解决由于噪声存在导致式(2)无解的情况.

Table 1 Table of Heard Anchors T_i

表 1 传感器节点 S_i 的 anchor 节点接收表 T_i

Sensor S_i	x	y	RSSI(dBm)
B	32	15	-50
C	18	41	-65
D	55	36	-80

Table 2 Table of One-Hop Neighbors T_B

表 2 anchor 节点 B 的一跳邻居表 T_B

Anchor B	x	y
C	18	41
D	55	36
E	60	45

1.4 噪声存在情况下的定位研究

本文提出的算法实质上是将接收信号强度排序和空间区域作映射. 比如参考图 4, $RSSI_A \geq RSSI_B \geq RSSI_D \geq RSSI_C$ 映射到空间区域①. 所以如果噪声存在不改变接收信号强度的排序,定位结果不会受到影响. 所以为了减小由于噪声产生的定位误差,我们只需考虑当噪声存在影响到了接收信号强度的排序.

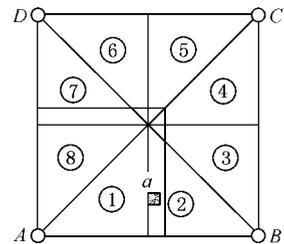


Fig. 4 Location problem when noise exists.

图 4 噪声存在情况下的定位问题

参考图 4,假设传感器节点(正方形)到 anchor A 和 anchor B 的距离分别为 d_A 和 d_B ,由式(1)可知:

$$\left[\frac{P_r(d_A)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log\left(\frac{d_A}{d_0}\right) + X_{A-dB}. \quad (3)$$

$$\left[\frac{P_r(d_B)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log\left(\frac{d_B}{d_0}\right) + X_{B-dB}. \quad (4)$$

将 d_A 和 d_B 分别用 $P_r(d_A)$ 和 $P_r(d_B)$ 表示如下:

$$\left[\frac{P_r(d_A)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} - X_{A-dB} + 10\beta \log(d_0) = -10\beta \log(d_A), \quad (5)$$

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

将式(5)(6)相减,得到如下结果:

$$\left[\frac{P_r(d_A)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} - X_{A-dB} - \left[\frac{P_r(d_B)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} + X_{B-dB} = -10\beta \log\left(\frac{d_A}{d_B}\right). \quad (7)$$

假设噪声存在最大值 $MaxNoise$, 即 $|X_{dB}| \leq MaxNoise$, 对于式(7), 若满足:

$$\left[\begin{array}{c} P_r(d_A) \\ P_r(d_0) \end{array} \right]_{dB} - X_{A-dB} - \left[\begin{array}{c} P_r(d_B) \\ P_r(d_0) \end{array} \right]_{dB} + X_{B-dB} < 0, \quad (8)$$

则可以确定 $d_A > d_B$, 将 $|X_{dB}| \leq MaxNoise$ 代入式(8), 化简得:

$$\left[\begin{array}{c} P_r(d_B) \\ P_r(d_0) \end{array} \right]_{dB} - \left[\begin{array}{c} P_r(d_A) \\ P_r(d_0) \end{array} \right]_{dB} > 2MaxNoise. \quad (9)$$

由式(9)可知, 在噪声存在的情况下, 只有当 $P_r(d_A)$ 和 $P_r(d_B)$ 之间的差值大于某个 θ 才能确定 $d_A > d_B$ (θ 的大小与环境噪声有关). 所以在 VBLS 算法中, 当前后相继的两个接收信号强度之差小于 θ , 那么我们认为它们的信号强度的排序不能反映它们的距离排序, 计算前一个 anchor 节点的 Voronoi 区域时要将该区域扩大 η 倍以包括更多的模糊区域. 根据环境噪声的不同, 具体参数 θ 和 η 可以进行调节.

2 仿真性能评估

本节我们将 VBLS 和另外两种定位算法, Centroid 和 W-Centroid 进行性能比较.

2.1 信号传输模型

在仿真中我们假设系统的噪声总体服从平均值为 0 的高斯分布(在每个方向上噪声的平均值不为 0). 我们将高斯分布的标准差 σ 定义为参数 DON (degree of noise) 用于反映环境的噪声水平, 图 5 和图 6 分别表示当 DON 分别为 0.2 和 0.1 时信号的传输情况(图中圆周表示没有噪声情况下得到的接收信号强度).

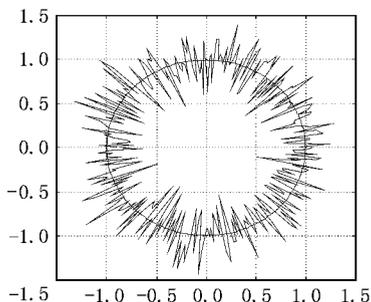


Fig. 5 Radio propagation pattern when $DON=0.2$.

图 5 $DON=0.2$ 时信号传输图

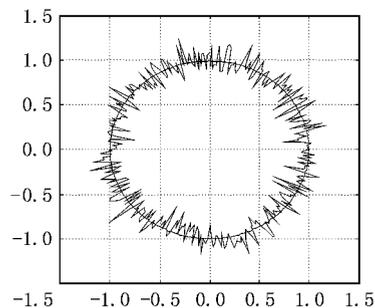


Fig. 6 Radio propagation pattern when $DON=0.1$.

图 6 $DON=0.1$ 时信号传输图

2.2 仿真参数设置

在仿真中, 我们采用以下参数衡量定位算法的性能.

通信半径(communication range, CR): 传感器节点和 anchor 节点的最大通信距离;

Anchor 密度(anchor density, AD): 单位面积上的 anchor 数;

DON (degree of noise): DON 用于表示环境中的噪声水平;

距离误差(distance error, DE): 传感器节点的实际位置和估算位置之间的欧几里德距离.

估算误差(estimate error, EE): 距离误差和通信半径之间的比值, 用估算误差可以很方便地比较在不同通信半径下的定位误差的变化.

扩展系数(extend factor, EF): 该系数用于指定在噪声存在的情况下, 计算 Voronoi 区域时扩大的百分比.

2.3 估算误差随通信半径(CR)和 anchor 密度(AD)的变化情况

从图 7 和图 8 可以看出, 当改变通信半径(CR)和 anchor 密度(AD)时 VBLS, Centroid 和 W-Centroid

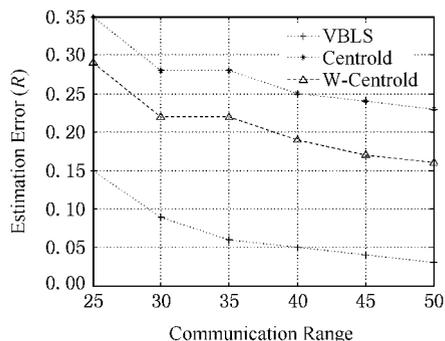


Fig. 7 Estimation error varying communication range.

$AD=0.0025$ $DON=0.1$ $EF=0.1$ random.

图 7 估算误差随通信半径变化情况

的估算误差变化情况. 我们可以看出, 估算误差随着通信半径和 anchor 密度的增加而降低, 这是因为随着通信半径和节点密度的增加, 每个传感器节点平均能够通信的 anchor 节点数目开始增加, 这样传感器节点能够用于确定自身位置的信息变多, 所以定位误差降低. 这告诉我们提高 anchor 节点的密度和节点的通信半径可以提高定位的精度.

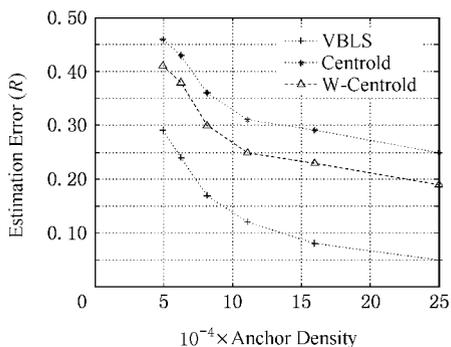


Fig. 8 Estimation error varying anchor density. $CR = 40$ $DON = 0.1$ $EF = 0.1$ random.

图 8 估算误差随 anchor 密度变化情况

2.4 定位误差随 DON 的变化情况

图 9 和图 10 分别是当 anchor 节点均匀分布和随机分布的情况下, 估算误差随 DON 的变化情况. 从中可以看出, 除了 Centroid, VBLS 和 W-Centroid 的定位误差都随着 DON 的增大而增大, 这是因为 Centroid 是利用节点之间的连通性进行定位, 并没有用到接收信号强度, 所以接收信号强度存在误差不会影响 Centroid 的性能. 从图 9 和图 10 我们还可以看出, anchor 节点均匀摆放能较大地提高 Centroid 和 W-Centroid 的性能, 而 VBLS 对于 anchor 摆放的形式并不敏感.

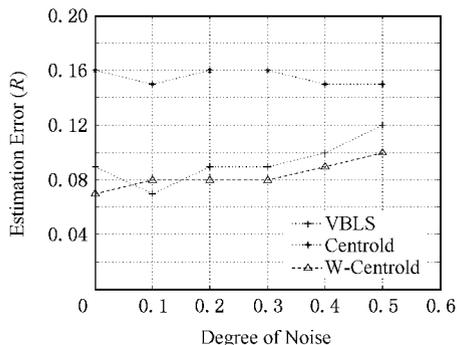


Fig. 9 Estimation error varying degree of noise (uniform deployment). $CR = 40$ $AD = 0.0011$ $EF = 0.1$ uniform.

图 9 anchor 均匀摆放时估算误差随 DON 变化情况

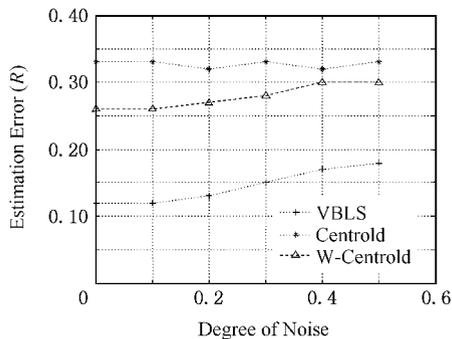


Fig. 10 Estimation error varying degree of noise (random deployment). $CR = 40$ $AD = 0.0011$ $EF = 0.1$ random.

图 10 anchor 随机摆放时估算误差随 DON 变化情况

2.5 定位误差随扩展系数(EF)的变化情况

从图 11 我们可以看出定位误差一开始是随着扩展系数的增大而减小, 接下来随着扩展系数的增大而增加. 这是因为增大扩展系数对于定位的影响既有积极的作用也有消极的作用. 一方面增大扩展系数可以包括更大的边界区域, 可以有效地纠正由于噪声存在导致接收信号强度排序发生变化可能产生的错误; 另一方面增大扩展系数, 计算得到的 Voronoi 区域的交集就会变大, 这样定位得到的结果误差会增大. 所有根据环境噪声情况选择合适的扩展系数可以有效地提高 VBLS 的定位性能.

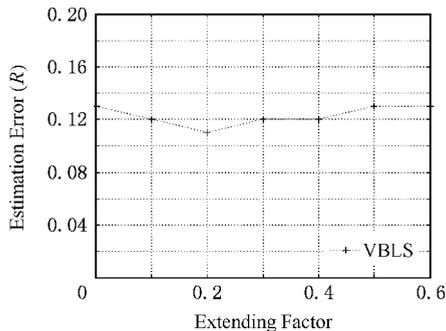


Fig. 11 Estimation error varying extending factor. $CR = 40$ $AD = 0.0011$ $DON = 0.1$.

图 11 估算误差随扩张系数变化情况

3 结 论

在本文中, 我们提出并且模拟评价了一种基于 Voronoi 图无需测距的定位算法. 首先, 我们考虑了在不存在噪声的情况下定位问题的解决方法; 接下来, 我们研究了噪声存在情况下的定位问题; 最后, 我们将 VBLS 算法和 Centroid, W-Centroid 之间进行比较, 可以看出, 无论在 anchor 节点均匀摆放和 anchor 节点随机摆放的情况下, VBLS 都能取得较

为精确的定位效果.

参 考 文 献

- [1] B H Wellenhoff, H Lichtenegger, J Collins. Global Position System: Theory and Practice, Four Edition[M]. New York: Springer-Verlag, 1997
- [2] A Savvides, C C Han, M B Srivastava. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors [C]. In: Proc of Mobile Computing and Networks. New York: ACM Press, 2001. 166-179
- [3] D Niculescu, B Nath. Ad Hoc position system using AoA [C]. In: Proc of the IEEE INFOCOM. San Francisco: IEEE Computer and Communication Societies Press, 2003. 1734-1743
- [4] P Bahl, V N Padmanabhan. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system [C]. In: Proc of IEEE INFOCOM. Tel-Aviv, Israel: IEEE Computer and Communications Societies Press, 2000. 775-784
- [5] K Lorincz, M Welsh. MoteTrack: A robust, decentralized approach to RF-based location tracking [C]. In: Proc of Int'l Workshop on Location and Context-Awareness. Berlin: Springer-Verlag, 2005. 63-82
- [6] N Bulusu, J Heidemann, D Estrin. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices [J]. IEEE Personal Communications Magazine, 2000, (5): 28-34
- [7] X F Shen, Zh Wang, P Jiang, et al. Connectivity and RSSI based localization scheme for wireless sensor networks [C]. IEEE 2005 Int'l Conf on Intelligent Computing, Hefei, 2005
- [8] D Niculescu, B Nath. Ad hoc positioning system (APS) [C]. In: Proc of IEEE GLOBECOM. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2001. 2926-2931
- [9] He T Huang, C Blum, B M Stankovic, et al. Range-free localization schemes for large scale sensor networks [C]. In: Proc of ACM Int'l Conf on Mobile Computing and Networking (MobiCom). New York: ACM Press, 2003. 81-95
- [10] Xiao Ling, Li Renfa, Luo Juan. A sensor localization algorithm in wireless sensor networks based on nonmetric multidimensional scaling [J]. Journal of Computer Research and Development, 2007, 44(3): 399-405 (in Chinese)
(肖玲, 李仁发, 罗娟. 基于非度量多维标度的无线传感器网络节点定位算法 [J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(3): 399-405)



Wang Jichun, born in 1981, Ph. D. candidate in the Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China. His main research interests include wireless sensor network and mobile ad-hoc networks.

王继春, 1981年生, 博士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络、Ad-Hoc 网络。



Huang Liusheng, born in 1957. Professor and Ph. D. supervisor in the Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China. His main research interests include wireless sensor network, information security

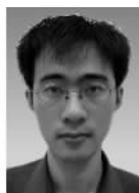
and distributed computing.

黄刘生, 1957年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为无线传感器网络、信息安全和分布式计算。



Xu Hongli, born in 1980. Received a Ph. D. in Computer Science from University of Science and Technology of China in 2007. His main research interests include wireless sensor network and distributed computing.

徐宏力, 1980年生, 博士, 主要研究方向为无线传感器网络、分布式计算。



Xu Ben, born in 1982. Ph. D. candidate in the Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China. His main research interests include wireless sensor network and mobile ad-hoc networks.

徐 , 1982年生, 博士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络、Ad-Hoc 网络。



Li Shanliang, born in 1982. Master candidate in the Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China. His main research interests include wireless sensor networks and mobile ad-hoc networks.

李善亮, 1982年生, 硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络、Ad-Hoc 网络。

Research Background

Localization is a fundamental issue for wireless sensor networks. In the past few years, many location schemes have been proposed in literatures. In this paper we introduce a novel range-free localization algorithm VBLS, which is accurate, distributed and robust. Under ideal conditions, the received signal strength indicator (RSSI) is a monotonic decreasing function as distance increases. So the distance constraints to all neighbor anchors can be derived from the received signal strength indicators of anchors. The steps of VBLS are as follows: First, VBLS sorts the received signal strength indicator in descending order. Then, we use unit disk graph to calculate the Voronoi area of anchors in turn. Finally, the overlapping region of different anchors' Voronoi area is identified as the possible region where sensor resides in. We compare our work via simulation with two other range-free location schemes to show that our algorithm is efficient in both uniform anchor deployment and random anchor deployment. This paper is supported by the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under grant No. 2006CB303006.