

大规模 WSNs 多层定位模型与误差分析

田 丰, 郭 巍, 王传云, 拱长青, 孙小平

(沈阳航空工业学院计算机学院, 辽宁沈阳 110136)

摘 要: 针对大规模无线传感器网络的定位问题, 提出了一种多层定位模型. 首先根据网络中节点的不同应用与软硬件特性将节点划分为多个定位层次, 并按照各层次的特性设计相应的定位算法, 然后融合各定位层次为整个无线传感器网络的定位. 分析研究了各层的定位误差以及层与层之间的误差传播和积累, 并给出了降低这些误差的方法. 仿真结果表明, 分层定位模型能较好地处理误差积累问题, 对节点定位误差和测距误差具有一定的容错性, 在通信级节点定位误差为 0.05、RSSI 测距误差为 0.3 的情况下, 相比 DV-Hop 算法平均点位误差减小 16%.

关键词: 大规模无线传感器网络; 无线定位; 多层定位模型; 定位误差; 误差传播

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2009) 05-1095-05

Multilevel Localization Model and Localization Error Analyze for Large Scale WSNs

TIAN Feng, GUO Wei, WANG Chuan-yun, GONG Chang-qing, SUN Xiao-ping

(School of Computer Science, Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang, Liaoning 110136, China)

Abstract: Aiming at the localization problem of large scale WSNs, a multilevel localization model is presented. Firstly, the nodes are divided into different levels according to their characters, and then localization algorithms are designed for each level and combined to the whole localization model of WSNs. The errors of each level and the error propagation between the levels have been analyzed, and the methods of reducing them are presented. Simulation results show that the multilevel localization model can deal well with the error accumulation, and the position error can be reduced 16% than DV-Hop while the position error of communicate level nodes is 0.05 and edge measurement error is 0.3.

Key words: large scale WSNs; wireless localization; multilevel localization model; localization error; error propagation

1 引言

在大规模无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)定位的研究和应用中^[1,2], 节点成本、定位精度和部署问题显得尤为突出, 经典的传感器网络定位算法^[3]已很难满足要求. 分层思想易于大规模传感器网络的部署和组织, 可根据需求为各层次灵活地选择定位算法. 由于测得的无线定位参数存在误差, 并会以某种规律^[4]传递给定位结果, 为了抑制定位误差的传播和积累, 消除各测量值之间的矛盾, 在相同的硬件条件下获得更高的定位精度, 文中提出通过粗差检验(gross error detection)^[5]方法剔除含有较大误差的定位数据, 通过多次观测加权平均方法削弱偶然误差(accidental error)的影响, 通过测边网平差(Adjustment of Trilateration Networks, ATN)^[6]从整簇或整网角度抑制定位误差, 通过拟稳平差(quasi-stable adjustment)^[7]来抑制多层模型中层与层

之间的误差传播.

2 多层定位模型

2.1 定位原理

在大规模无线传感器网络中往往有多种功能不同的节点, 它们的硬件平台、软件系统以及网络协议^[2]必然存在一定区别, 通信、计算能力也不尽相同. 根据具有相似软硬件配置的节点具有相似的定位性能和系统误差的特点, 把不同软硬件配置的节点分成不同的级别, 把每一个级别作为一个定位层次分别设计适合各层次特性的定位算法, 然后将多个层次的定位融合为整个无线传感器网络的定位.

无线传感器网络多层定位模型由控制中心、网关、GPS 级节点、通信级节点、传感器级节点组成. 控制中心负责整个网络定位数据的管理和误差处理; 网关用来连接无线网络和有线网络; GPS 级节点自定位后作为整个

收稿日期: 2008-01-15; 修回日期: 2009-01-11

基金项目: 辽宁省自然科学基金(No. 20082011); 航空科学基金(No. 2007ZD54002)

定位网络的最高层信标节点,为通信级节点定位提供参考数据;通信级节点用于长距离通信和数据转发,采用 TDOA 等定位精度较高的方法定位,之后作为传感器级节点的信标节点;传感器级节点为网络采集感应数据,通过接收通信级节点的定位信息,采用距离无关定位算法,如 DV-Hop^[8]等进行定位。

2.2 定位过程

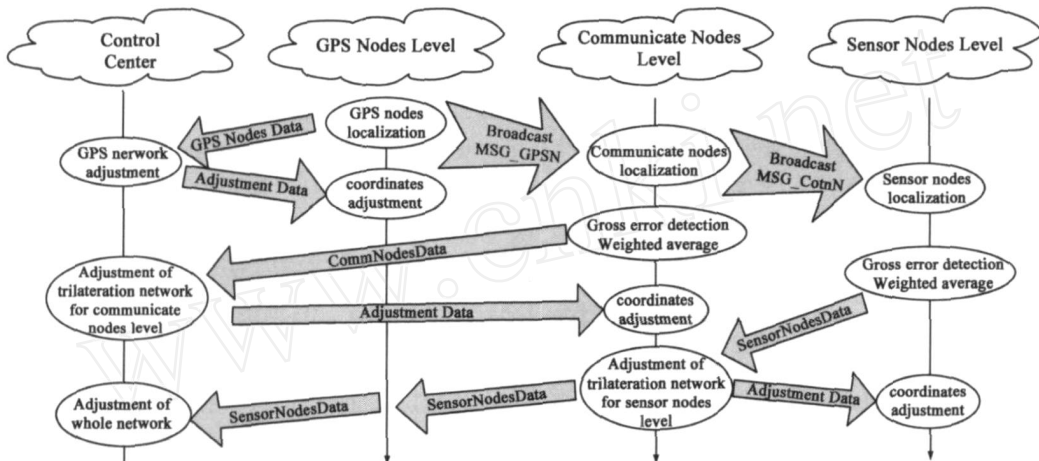


图1 多层模型定位时序图

(1) GPS级节点定位与平差

无线传感器网络各级节点随机布放后, GPS级节点先通过GPS定位系统进行自身定位,作为整个无线传感器网络的顶层参考节点,接着GPS级节点将其坐标值和载波相位观测值发往控制中心,并广播自己的定位信息,为通信级节点提供定位参考。控制中心联合所有的GPS级节点构成GPS基线网^[6]进行平差,对其坐标数据进行误差改正,并将改正后的坐标数据发往相应的GPS节点。

(2) 通信级节点定位与平差

通信级节点以GPS级节点为信标,采用TDOA方法完成初始化定位后广播自己的定位信息,同时通信级节点与同级邻居节点通信,通过TDOA方法获得到各邻居节点的距离。通信级节点多次估算自身坐标和到同级邻居节点的距离后,分别对坐标数据和测距数据进行粗差检验^[5]和加权平均处理^[6],然后将处理后的数据发往控制中心。控制中心综合各通信节点发来的数据,联合相关的通信节点和GPS节点构成测边网进行平差^[6],以改善通信级节点的点位精度。

(3) 传感器级节点定位与平差

传感器级节点随机布撒后,根据实际位置与通信级节点混合进行分簇,采用距离无关的定位算法进行初始化点位估计,并通过无线传播模型^[9]将接收到的邻居节点的信号强度信息转化为到邻居节点的距离。一段时间后,各传感器节点将经过粗差检验和加权平均的多余观测数据发往簇头。簇头联合各节点的邻居

节点构成测边网进行平差,并将平差后的坐标数据传到控制中心。

(4) 整网误差分析

在控制中心根据误差传播理论^[6,7]对整个网络各级节点的定位估计数据进行误差改正,并评定各级节点的定位精度。

节点构成测边网进行平差,并将平差后的坐标数据传到控制中心。

(4) 整网误差分析

在控制中心根据误差传播理论^[6,7]对整个网络各级节点的定位估计数据进行误差改正,并评定各级节点的定位精度。

3 误差分析与处理

无线传感器网络的定位误差分为系统误差、偶然误差和粗差,不同的硬件平台具有不同的系统误差,如系统延迟、灵敏度等。无线定位过程中的偶然误差主要由于大气、温度、湿度、移动地物、电磁干扰等原因造成,该误差服从正态分布。粗差是因为设备损坏或异常原因造成的,对定位结果影响很大,必须剔除。

3.1 观测数据粗差检验

将某一观测多次观测后得到的观测数据向量 L 分成三部分 L_1, L_2, L_3 ,维数分别为 m_1, m_2, m_3 ,并记 $L^T = [L_1^T \ L_2^T \ L_3^T]$,假设 L_1 存在粗差, L_2 可能存在粗差, L_3 不存在粗差,根据均值漂移粗差检验原理^[5],可得误差方程:

$$V = A U + \hat{J}g + l \quad (1)$$

其中, $J = \begin{bmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & I_2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, $g = \begin{bmatrix} \hat{g}_1 \\ \hat{g}_2 \end{bmatrix}$, \hat{g}_1, \hat{g}_2 分别是 L_1, L_2

的粗差估值。由式(1)可解得 \hat{g} 的最小二乘解:

$$\hat{g} = \begin{bmatrix} \hat{g}_1 \\ \hat{g}_2 \end{bmatrix} = - Q_g^T J^T P V \quad (2)$$

其中, $Q_g = (J^T P Q_V P J)^{-1}$, $Q_V = P^{-1} - A(A^T P A)^{-1} A^T$, V 为最小二乘残差, P 为观测权阵.

设 $J_1 = [l_1 \ 0 \ 0] J^T$, 则仅在 L_1 的误差方程加粗差参数时 L_1 的粗差估值为: $\hat{g}_1 = - Q_{g_1} J_1^T P V$, 其中, $Q_{g_1} = (J_1^T P Q_V P J_1)^{-1}$.

检验 L_2 是否存在粗差的检验统计量为:

$$F = \frac{(\hat{g}^T Q_g^{-1} \hat{g} - \hat{g}_1^T Q_{g_1}^{-1} \hat{g}_1) / m_2}{(V^T P V - \hat{g}^T Q_g^{-1} \hat{g}) / (n - t - m_1 - m_2)} \quad (3)$$

对于给出显著水平 α , 如果

$$F > F(\alpha, m_2, n - t - m_1 - m_2) \quad (4)$$

则判定观测值 L_2 含有粗差, 否则认为 L_2 中不存在粗差. 对于同一观测量的一组观测数据, 采用逐次逐个搜索法^[5]进行粗差搜索.

根据以上理论, 将每个节点的多次坐标估算数据和测边数据作为观测向量, 分别进行点位粗差检验和测边粗差检验. 若该节点的观测向量数据均被剔除或剩余个数低于某设定值, 则该节点不参与以后的平差计算, 并认为其移动或失效.

3.2 多余观测数据的加权平均^[6]

(1) 点位数据加权平均

对未知节点 A 进行 n 次定位估计, 粗差检验后, 排除 m 次估计数据, 记为 $D_i = (X_i, Y_i)^T$, ($i = 1, 2, \dots, n - m$). 由于这 $n - m$ 次定位估计的时间、无线通信环境和定位条件不同, 如温度、湿度、参考节点个数等, 其定位精度也随之不同, 设其权为 p_i . 根据平差原理, 由坐标向量和其权向量可解得节点 A 的加权平均坐标:

$$\hat{D} = \frac{\sum_{i=1}^{n-m} p_i D_i}{\sum_{i=1}^{n-m} p_i} \quad (5)$$

(2) 测边数据加权平均

某条边的 r 次边长观测值, 经过粗差检验后排除 s 次, 得距离向量 $L = (l_1, l_2, \dots, l_j, \dots, l_{r-s})^T$, 根据不同的信号强度和信号质量赋予不同的权 p_{s_j} , 由平差原理得该边的加权平均边长:

$$\hat{L} = \frac{\sum_{j=1}^{r-s} p_{s_j} l_j}{\sum_{j=1}^{r-s} p_{s_j}} \quad (6)$$

3.3 基于单跳邻居节点的测边网平差

测得两待定点 D_j, D_k 间的边长为 L_i , 令

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_j \\ \hat{Y}_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_j^0 + \hat{x}_j \\ Y_j^0 + \hat{y}_j \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \hat{X}_k \\ \hat{Y}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_k^0 + \hat{x}_k \\ Y_k^0 + \hat{y}_k \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中, $\hat{X}_j, \hat{Y}_j, \hat{X}_k, \hat{Y}_k$ 为待定点的坐标平差值, $X_j^0, Y_j^0, X_k^0, Y_k^0$ 为坐标估值, $\hat{x}_j, \hat{y}_j, \hat{x}_k, \hat{y}_k$ 为坐标估值改正数. 则 L_i 的平差值方程为:

$$\hat{L}_i = L_i + v_i = \sqrt{(\hat{X}_k - \hat{X}_j)^2 + (\hat{Y}_k - \hat{Y}_j)^2} \quad (8)$$

按 Taylor 公式展开并整理可得测边误差方程:

$$v_i = \frac{X_{jk}^0}{S_{jk}^0} (\hat{x}_k - \hat{x}_j) + \frac{Y_{jk}^0}{S_{jk}^0} (\hat{y}_k - \hat{y}_j) - l_i \quad (9)$$

其中, $X_{jk}^0 = X_k^0 - X_j^0, Y_{jk}^0 = Y_k^0 - Y_j^0, l_i = L_i - S_{jk}^0, S_{jk}^0 = \sqrt{(X_k^0 - X_j^0)^2 + (Y_k^0 - Y_j^0)^2}$.

当 WSNs 中一组相关的 N 个节点完成基于多余观测的粗差检验和加权平均后, 每个节点连接距自己只有一跳的邻居节点, 即构成测边网. 根据式(9)为每条边列出误差方程, 由最小二乘原理解得坐标改正向量:

$$\hat{u} = (B^T P B)^{-1} B^T P l \quad (10)$$

其中, P 为测边网的权阵, B 为系数矩阵. 记 \hat{x} 为 \hat{u} 的奇数项, \hat{y} 为 \hat{u} 的偶数项, 于是各节点的点位平差值为:

$$\hat{D}_i = (\hat{X}_i, \hat{Y}_i)^T = (X_i^0 + \hat{x}_i, Y_i^0 + \hat{y}_i)^T \quad (11)$$

各节点点位中误差为:

$$\sigma_{p_i} = \sqrt{\sigma_{x_i}^2 + \sigma_{y_i}^2} = \sigma \sqrt{N_{kk}^{-1} + N_{ll}^{-1}} \quad (12)$$

其中, $k = 1, 3, \dots, 2n - 1, l = 2, 4, \dots, 2n, \sigma = \sqrt{\frac{V^T P V}{n - m}}$ 为单位权中误差, $N^{-1} = (B^T P B)^{-1}$.

然后将式(11)解出的点位平差值作为传感器节点的近似坐标, 再根据以上过程进行迭代, 直至迭代一定次数或坐标参数满足设定的精度条件.

3.4 误差传递分析

由于下层节点的定位计算依赖于上层节点的定位信息, 所以上层节点的定位误差会传递给下层节点^[6,7], 并在下层形成积累. 如果通信级节点点位误差较大, 将直接影响传感器级节点的定位精度. 为提高下层定位精度, 首先要尽可能地提高上层节点的定位精度.

由于 GPS 节点通常固定不动, 采用较高性能的 GPS 接收机, 经过长时间观测, 加之误差改正, 可以得到厘米级精度的大地坐标, 于是相对整个传感器网络 GPS 级节点的定位误差可忽略不计.

(1) 通信级节点误差

单个通信节点通过 TDOA 方法算得自己的坐标, 然后联合其他通信节点和 GPS 节点进行测边网平差, 可得通信级节点坐标平差值:

$$\hat{D}_{CNI} = (\hat{X}_{CNI}, \hat{Y}_{CNI})^T = (X_{CNI}^0 + \hat{x}_{CNI}, Y_{CNI}^0 + \hat{y}_{CNI})^T \quad (13)$$

(2) 传感器级节点误差

单个传感器节点通过初始化定位获得自身坐标后, 再联合簇内的其它节点进行测边网平差, 由于参与平差计算的通信级节点也含有误差, 所以在控制中心采用拟稳平差来重新计算传感器级节点的坐标改正数.

设簇内平差网中有 n 条观测边和 t 个节点,其中传感器节点个数为 t_1 ,通信节点个数为 t_2 ,且 $t = t_1 + t_2$. 选取传感器节点为非稳定点,设其坐标平差值为 $\hat{U}_1 = U_1^0 + \hat{u}_1$, U_1^0 为测边网平差值;通信节点为稳定点,设其坐标平差值为 $\hat{U}_2 = U_2^0 + \hat{u}_2$, U_2^0 取式(13)中的平差值,于是可得拟稳平差网^[7]的误差方程:

$$V = B\hat{u} - l = \begin{pmatrix} B_1 & B_2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \hat{u}_1 \\ \hat{u}_2 \end{bmatrix} - l \quad (14)$$

设观测边的权为 P ,根据最小二乘原理组成法方程:

$$\begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \hat{u}_1 \\ \hat{u}_2 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} B_1^T P l \\ B_2^T P l \end{pmatrix} \quad (15)$$

其中, $N_{11} = B_1^T P B_1$, $N_{12} = B_1^T P B_2 = N_{21}^T$, $N_{22} = B_2^T P B_2$.

消去非稳定点的未知数 \hat{u}_1 ,根据附加稳定点未知数 \hat{u}_2 的加权最小范数条件: $\hat{u}_2^T P_{CN} \hat{u}_2 = \min$,从广义逆矩阵出发求解,得 \hat{u}_2 的加权最小范数解:

$$\hat{u}_2 = M_p^m C P l \quad (16)$$

其中, $M_p^m = P_{CN}^{-1} M (M P_{CN}^{-1} M)^{-1}$ 为加权最小范数逆, $M = N_{22} - N_{21} N_{11}^{-1} N_{12}$, $C = B_2^T - N_{21} N_{11}^{-1} B_1^T$, P_{CN} 为通信级节点的精度权阵.

将 \hat{u}_2 代入式(15)得传感器节点的坐标改正向量:

$$\hat{u}_1 = N_{11}^{-1} (B_1^T - N_{12} M_p^m C) P l \quad (17)$$

则传感器级节点的坐标平差值为:

$$\hat{D}_i = (\hat{X}_i, \hat{Y}_i)^T = (X_i^0 + \hat{x}_i, Y_i^0 + \hat{y}_i)^T \quad (18)$$

其中, X_i^0 为 U_i^0 的奇数项, Y_i^0 为 U_i^0 的偶数项, \hat{x}_i 为 \hat{u}_1 的奇数项, \hat{y}_i 为 \hat{u}_1 的偶数项.

4 多层定位模型仿真分析

仿真环境限定在 2 维空间,用 OMNeT++ 和 VC++ 对多层定位模型及其误差处理方法进行了仿真.4 个 GPS 节点均匀布设在 3000m × 3000m 监控区域的边缘地带,广播定位信息覆盖整个监控区域;通信节点较均匀地布设在 GPS 节点围成的区域内,以构成测边网平差的最佳条件,通信半径为 500m;簇规模设为 500m × 500m,每簇随机布撒 100 个传感器节点,采用 DV-Hop 定位算法对传感器节点进行初始化位置估计;相邻簇内节点间距离估算采用 RSSI 方法,测距误差 a 使用相对误差表示,如 0.1 的测距误差表示误差为射频通信距离的 10%.

4.1 簇内定位误差分析

(1) 参考节点密度 DR 为 0.3,传感器节点通信半径 R 在 80m ~ 120m 之间变化的情况下,比较 DV-Hop 定位算法的平均点位误差和不同 RSSI 测距误差比率 a 情况下测边网平差(ATN)算法的平均点位误差,比较标准用绝对点位误差表示,结果如图 2 所示.

可知,DV-Hop 的平均点位误差随节点通信半径的增加而增加,而 ATN 算法的平均点位误差随通信半径的增大变化不明显.ATN 算法的最终迭代结果取决于测边精度和邻居节点个数,通信半径越大,平均邻居节点个数就越多,参与平差计算的边也就越多,越利于提高平差点位精度,但由于通信半径越大,产生的绝对误差也就越大,两个因素相互作用导致图 2 中 ATN 算法的结果随半径变化较平缓,在 $R = 90$ 或 100 时,平差定位精度相对较高.

(2) 取节点通信半径为 100m,仿真比较不同参考节点密度情况下,传感器节点采用 DV-Hop 算法直接定位的平均点位误差和不同 RSSI 测距误差 a 情况下测边网平差的平均点位误差,结果如图 3 所示.可见 DV-Hop 算法直接定位误差较大,考虑邻居节点间的距离信息,联合构成测边网进行平差后点位误差明显减小,在 RSSI 测距误差 $a = 0.7$ 的情况下可得到与 DV-Hop 算法相近的定位结果;在 $a = 0.5$ 时,可使点位误差从 56.1% ~ 33.24% 减小到 47.7% ~ 23.6%;在 $a = 0.3$ 时,可使点位误差减小到 33.8% ~ 12.4%,可见测边网平差定位算法对测边误差有着很好的鲁棒性.

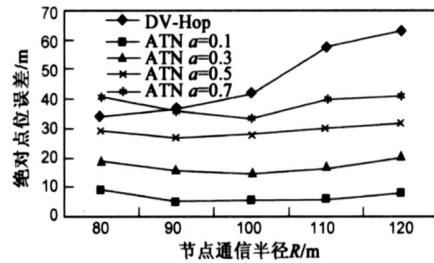


图2 不同通信半径下的绝对点位误差比较

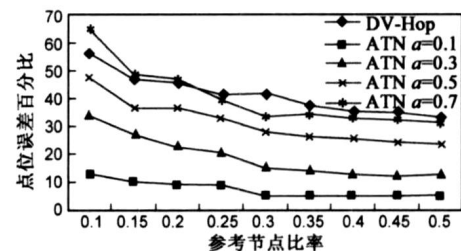


图3 不同参考节点比率下的点位误差比较

随参考节点比率的增加,DV-Hop 直接定位和平差定位的定位精度均稳步升高,由于测边网平差的精度主要受测边精度的影响,相比 DV-Hop 测边网平差定位在低参考节点比率的情况下也能得到较高的定位精度,受参考节点比率的影响相对较小.

4.2 整网定位误差分析

仿真比较多层定位模型和分布式定位算法传感器节点的定位误差.通信级节点采用 TDOA 方法测距,极大似然估计法进行位置估算,点位误差记为 CE ,然后进行通信级节点的测边网平差,之后作为传感器级节

点的参考节点参与传感器级节点的定位估计与平差计算. 并认为 DV-Hop 定位算法中参考节点是无误差的, 其比率与多层模型中通信节点的比率相同. 当 RSSI 测距误差 $a=0.3$ 时, 仿真结果如图 4 所示.

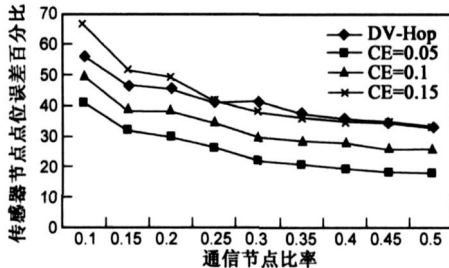


图4 多层定位模型与DV-Hop算法定位误差比较

可知, 在 RSSI 测距误差为 0.3 的情况下, 当通信节点点位误差为 0.05 时, 传感器节点平均点位误差相比 DV-Hop 减小 16%, 当通信级节点点位误差为 0.15 时, 多层定位模型可得到与 DV-Hop 相近的点位误差.

通信节点的误差处理和测边网平差可有效地降低通信节点的点位误差, 拟稳平差又抑制了误差在层间的传播, 比较图 3 和图 4 可知, 当 $CE=0.1$, $a=0.3$ 时与簇内 $a=0.5$ 时传感器节点的精度相近. 由于通信级节点的通信半径为传感器级节点通信半径的 5 倍, 于是可认为相同的点位比例误差下两级节点的绝对误差也相差 5 倍, 由此可得, 只有一半左右的通信级节点的点位误差传给了传感器级节点, 可见多层定位模型可以较好的抑制层间的误差传播和积累问题, 对节点初始点位误差和测距误差具有一定的容错性.

5 结束语

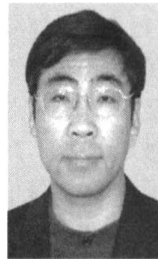
本文提出的多层定位模型采用分层、分治的思想研究大规模定位问题, 为大规模传感器定位应用中参考节点部署、定位误差积累、网络造价和复杂度等问题提出了一种解决方案, 适合野外环境监测、森林防火、战场分析等大规模随机网络部署应用. 分层后的定位网络可根据实际情况为每层设计不同的定位算法和误差处理方法, 提高了定位算法的灵活性, 有利于网络定位性能的发挥, 便于无线传感器网络的部署和规模的扩展, 具有实际应用价值.

参考文献:

- [1] Yang Q, Wang Z J. Study on localization algorithms for large-scale wireless sensor network [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2007, 26(2): 33-36.
- [2] Wang X, Bi D W, et al. Agent collaborative target localization and classification in wireless sensor networks [J]. Sensors, 2007, 7(8): 1359-1386.

- [3] 王福豹, 史龙, 等. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 857-868.
Wang F B, Shi L, et al. Self-localization systems and algorithms for wireless sensor networks [J]. Journal of Software, 2005, 16(5): 857-868. (in Chinese)
- [4] Liu J, Zhang Y. Error control in distributed node self-localization [J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008, 8(2): 1-13.
- [5] 宋力杰. 均值平移模型的理论研究及分析[J]. 测绘学院学报, 2000, 17(3): 160-162.
Song L J. On theory analysis for expectation drift model [J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 2000, 17(3): 160-162. (in Chinese)
- [6] 武汉大学测绘学院测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
Surveying Adjustment Subject Group of Wuhan University. Error theory and basis of surveying adjustment [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2003. (in Chinese)
- [7] Wang S H, Liu D J. Datum of parameter adjustment with redundant known conditions and influence of datum with errors [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2004, 24(3): 19-23.
- [8] D Niculescu, B Nath. DV based positioning in ad hoc networks [J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(4): 267-280.
- [9] Awad A, Frunzke T, Dressler F. Adaptive distance estimation and localization in WSN using RSSI measures [A]. 10th Euro-micro Conference on Digital System Design Architectures, Methods and Tools [C]. Luebeck: IEEE Press, 2007. 471-478.

作者简介:



田 丰 男, 1958 年生于辽宁昌图, 工学博士, 沈阳航空工业学院计算机学院教授, 硕士生导师. 主要研究领域为计算机测控技术、无线传感器网络、嵌入式系统等. 通信作者.
E-mail: tianfeng5861@163.com



郭 巍 男, 1981 年生于河南商丘, 沈阳航空工业学院计算机学院硕士研究生, 主要研究领域为无线传感器网络.
E-mail: guoweisky2008@163.com