

文章编号:1001-9081(2014)09-2464-04

doi:10.11772/j.issn.1001-9081.2014.09.2464

基于二维网格融合特征参数的室内匹配定位算法

关维国^{1*}, 鲁宝春²

(1. 辽宁工业大学 电子与信息工程学院, 辽宁 锦州 121001; 2. 辽宁工业大学 新能源学院, 辽宁 锦州 121001)

(*通信作者电子邮箱 guanwei8@gmail.com)

摘要:针对接收信号强度值(RSSI)的时变特性降低定位精度的问题,提出了一种基于二维网格特征参数融合的室内匹配定位算法。该算法融合 RSSI 和信号到达时间差(TDOA)构建网格特征参数模型,基于二维网格快速搜索策略降低匹配定位的计算量,采用网格特征向量的归一化欧氏距离进行最优网格匹配定位,最终由匹配网格的参考节点计算终端的精确位置。定位仿真实验中,该算法在 3 m 网格粒度下的定位均方根误差为 1.079 m,平均定位误差小于 1.865 m;3 m 定位精度下的概率达到 94.7%,相对于传统单一 RSSI 模型法提高了 19.6%。所提算法能够有效提高室内定位精度,同时减少搜索数据量,降低匹配定位的计算复杂度。

关键词:室内定位;信号强度;到达时间差;特征参数融合;匹配定位

中图分类号: TP393.17 文献标志码:A

Indoor matching localization algorithm based on two-dimensional grid characteristic parameter fusion

GUAN Weiguo^{1*}, LU Baochun²

(1. School of Electronics and Information Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning 121001, China;

2. School of New Energy, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning 121001, China)

Abstract: Focused on the issue that the time-varying characteristic of indoor Received Signal Strength Indicator (RSSI) drastically degrades the localization accuracy, an indoor matching localization algorithm based on two-dimensional grid characteristic parameter fusion was proposed. The algorithm fused received signal strength and Time Difference of Arrival (TDOA) parameters to build grid feature model, in which two-dimensional grid quick search strategy was adopted to reduce computation amount. Normalized Euclidean distance of grid feature vector was used to realize the optimal grid match localization. Finally, the precise terminal location was computed by reference nodes of the matched grid. In the localization simulation experiments, the proposed algorithm achieved the localization Root Mean Square Error (RMSE) at 1.079 m, and the average localization accuracy was within 1.865 m in the condition of 3 m grid granularity; The probability of 3 m localization accuracy reached 94.7%, which was 19.6% higher than that of traditional method only based on RSSI. The proposed algorithm can effectively improve the indoor positioning accuracy, meanwhile reduces the search data quantity and the computational complexity of matching localization.

Key words: indoor localization; signal strength; Time Difference of Arrival (TDOA); characteristic parameter fusion; matching localization

0 引言

近年来,随着个人移动业务及物联网应用的发展,人们对室内位置信息服务的需求与日俱增,基于无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)等泛在网络的室内定位技术日益成为研究的热点^[1-2]。此类定位系统利用现有的泛在网络和移动终端即可实现定位,不需要额外的专用设备,利用接收信号强度值(Received Signal Strength Indicator, RSSI)来实现终端定位,在室内环境下具有较高的定位精度,可满足多数室内基于位置的服务(Location Based Service, LBS)需求^[3]。

目前室内定位系统多数基于接收信号强度 RSSI。定位

方法可分为模型法和位置指纹法。定位过程包括两个阶段,即建立射频地图的离线阶段和在线定位估计阶段^[4-5]。模型方法采用信号传播模型来构建射频地图;而指纹匹配方法则是通过预先采集的定位信号参数建立射频地图并进行匹配,最终完成移动终端的位置估计^[6]。典型的室内定位系统如 RADAR 系统和 HORUS 系统,均采用基于信号强度进行定位的技术^[7]。RADAR 系统在室内环境选取少量参考点,利用最近邻居算法和无线信号传播模型相结合的办法对目标位置进行估计。由于室内环境相当复杂,多径干扰和人员干扰很难用模型精确估计,因而制约了该系统的精确度^[8-9]。文献[10]提出的 HORUS 系统是基于指纹数据库的室内定位系统。该系统利用参考点上接收到的信号强度使用标准高斯分

收稿日期:2014-04-04;修回日期:2013-06-02。

基金项目:辽宁省博士科研启动基金资助项目(20131045);辽宁省教育厅科学研究资助项目(L2012218)。

作者简介:关维国(1973-),男,辽宁锦州人,副教授,博士,主要研究方向:移动网络定位、通信信号处理; 鲁宝春(1964-),男,辽宁锦州人,教授,博士,主要研究方向:电子技术。

布建模,在定位阶段,实时匹配算法计算每个参考点出现的概率,因而 HORUS 定位精度要高于 RADAR。由于多径、阴影效应等影响导致 RSSI 具有复杂的时变特性,尽管模型法实施简单,但是由于难以精准地表征所在位置的信号强度特征^[11],因此位置指纹法在定位精度及鲁棒性方面有着相对更好的性能。

针对室内定位信号强度 RSSI 的复杂性与时变特征,本文采用信号强度 RSSI 和信号到达时间差 (Time Difference of Arrival, TDOA) 作为定位特征参数,设计了一种基于二维网格 RSSI-TDOA 融合特征参数的匹配定位算法。该算法融合信号强度 RSSI 和到达时间差 TDOA 参数进行加权构造网格特征向量,作为匹配定位的网格特征参数;匹配定位采用二维网格快速搜索方法,有效降低匹配定位的计算量和复杂度。实验结果表明,本文算法可有效提高室内定位精度,同时减少了搜索数据量,降低了匹配定位的计算复杂度。

1 网格特征匹配定位原理

本文网格特征参数匹配定位方法采用基于位置指纹匹配方法原理实现终端定位。首先在室内定位区域划分若干个连续矩形网格并对应唯一的 ID,选取网格的顶点作为参考节点 (Reference Point, RP),在各 RP 处记录接收不同信标 (Access Point, AP) 的 RSSI 和 TDOA 统计参数形成网格特征参数向量,从而构建射频指纹数据库^[11-12]。在线定位时移动终端 (Mobile Station, MS) 检测 TDOA 和 RSSI 参数向量并与特征数据库向量进行加权匹配计算,确定移动终端所处的网格,并根据网格的 RP 估计最终移动台在网格内的坐标。整个定位过程分为离线训练阶段和在线定位阶段,如图 1 所示。

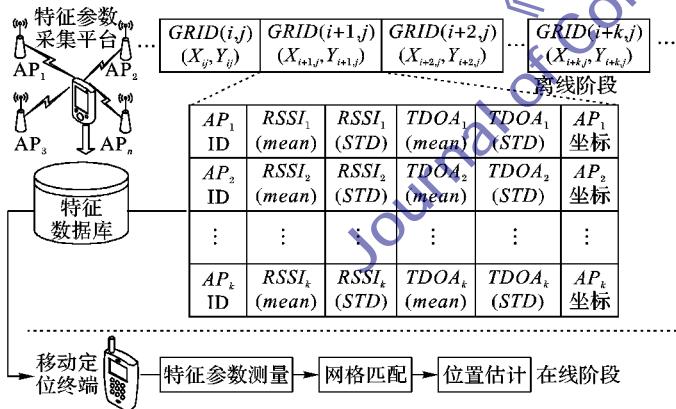


图 1 网格特征参数匹配定位工作原理

1) 离线训练。

在离线阶段建立网格特征参数数据库。在整个定位区域预先划分连续网格,在各个网格节点上测量不同 AP 的特征参数来构成射频定位指纹,由特征参数采集平台采集二维网格特征参数,构建特征数据库。特征库选取接收信号强度 RSSI 和不同 AP 的 TDOA 时延统计参数联合作为信号特征参数:首先选择网格参考节点 RP 的位置,然后将在每个参考节点处测量到的来自多个 AP 的信号特征参数记录在数据库中,特征数据包括网格 ID 及 RP 坐标、接收信号 AP 标识、接收信号强度值 (RSSI) 及信号到达时间差 (TDOA) 的均值、标准差等统计量向量。

2) 在线定位。

移动终端 (MS) 测得在某一位置处的信号特征参数,通过网格匹配算法将实测数据与特征数据库中存储的定位特征向量进行匹配计算,搜索出移动终端所处的网格;再根据测量参数与矩形网格 4 个参考节点 RP 处位置指纹的欧氏距离进行匹配计算,匹配算法对特征库数据进行匹配计算和网格搜索,最终实现位置估计。

2 网格特征参数模型

2.1 RSSI 参数特性分析

对于采用 RSSI 参数作为唯一网格特征参数的室内定位系统而言,需要在各个参考点测量来自不同 AP 的 RSSI 值来建立指纹库^[13]。常用的距离-损耗模型如式(1)所示:

$$L(d) = L(d_0) + 10n \lg(d/d_0) + \xi \quad (1)$$

其中: d_0 为参考距离(通常为 1 m); $L(d_0)$ 是参考距离 d_0 处的信号衰减量; d 是发射端和接收端之间的距离; $L(d)$ 是距离为 d 处的信号衰减量; n 是路径损耗指数; ξ 是遮蔽因子,一般服从均值为 0、方差为 σ^2 的正态随机分布^[14]。

由于室内存在多径、阴影衰落、绕射等因素影响,在同一个接收点的 RSSI 变化可达 10 dBm。主要原因在于室内的接收信号强度除了与传播距离 d 有关以外,还与路径中的阻挡物有关^[15]。距离 d 处的终端接收信号强度 RSSI 为:

$$RSSI(d) = RSSI(d_0) - 10n \lg(d/d_0) - \xi \quad (2)$$

为检验 RSSI 参数在网格定位中的波动程度,选取 30 m × 30 m 的矩形区域均匀划分为 100 个 3 m × 3 m 网格,AP 位于 (16.5 m, 19.5 m) 位置,发射功率为 20 dBm。选取 $n = 3, \sigma_\xi = 3$ dB。各个网格节点接收到 AP 的 RSSI 分布如图 2 所示。可见,在单一网格内 RSSI 变化量最高可达 10 dBm。由此可见,采用 RSSI 作为网格的唯一特征参数将无法保证定位的精度及稳定性。

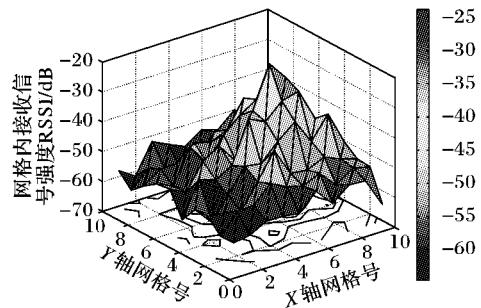


图 2 网格节点接收 AP 的信号强度 RSSI 分布

为了削弱 RSSI 参数波动对定位效果的影响,本文选取不同 AP 信号的 TDOA 参数和 RSSI 参数联合作为网格特征参数。由于 TDOA 的参数测量不要求 AP 和移动台之间的同步,所以采用 TDOA 作为特征参数可消除发射端和接收端的不同步误差。在匹配定位时对 TDOA 和 RSSI 向量进行归一化后进行加权匹配,可以削弱 RSSI 参数的随机性影响。

2.2 网格特征参数模型

在特征参数采集阶段,需首先确定特征参数模型,本文采用接收信号强度和到达时间差参数联合作为网格特征参数矩阵,网格特征参数矩阵包括所有网格 G_j 的参考节点 P_j 处的 TDOA 和 RSSI 参数向量。假设在参考节点 P_j 可接收到 N 个 AP 的信号,构建 P_j 位置处的特征参数矩阵 S_j 如式(3)所示:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} ID_{ij,1} & R_{ij,1} & T_{ij,1} & H_{ij,1} \\ ID_{ij,2} & R_{ij,2} & T_{ij,2} & H_{ij,2} \\ ID_{ij,3} & R_{ij,3} & T_{ij,3} & H_{ij,3} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ ID_{ij,N} & R_{ij,N} & T_{ij,N} & H_{ij,N} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中: N 为移动终端 MS 在某一网格内可有效解调信号的 AP 个数, $ID_{ij,N}$ 表示所能接收到第 N 个 AP 的 ID 编号, R_{ij} 为接收信号强度 RSSI 参数平均值及标准差, T_{ij} 为接收不同 AP 的到达时延差 TDOA 参数平均值及标准差, H_{ij} 为接收 AP 信号的健康属性。 $H_{ij} = 1$ 表示可靠解调; $H_{ij} = 0$ 表示信噪比小于解调门限, 此位置该 AP 参数不可用因而不参与匹配计算。在每一位置 P_{ij} , 矩阵 S_{ij} 各个行向量表征了来自某一个 AP 信号的特征。矩阵 S_{ij} 表征了在 P_{ij} 位置的所有信号特征。获取的特征参数矩阵应用于网格匹配定位算法中作为位置估计参数。

3 RSSI-TDOA 融合特征参数匹配定位算法

3.1 二维网格快速匹配定位策略

为了实现特征数据的快速搜索与匹配, 应避免在特征矩阵的海量数据中进行盲搜索。由于室内覆盖的每一个 AP 的 MAC 地址是唯一确定的, 因此本文算法中数据搜索及匹配策略基于最佳接收准则来确定终端所在的 AP 区域, 即通过选取接收到最高信噪比的 AP 信号 ID 来确定终端所处 AP 区域初始值, 并以该区域作为起始搜索域, 实现快速初始定位, 避免了在数据库中遍历搜索带来的巨大运算量。初始定位后搜索匹配基于二维搜索结构的网格拓扑、拓扑结构及搜索方向如图 3 所示。网格结构采用二维网格坐标, 每一网格 G_{ij} 以其标志点 P_{ij} 为索引, 以 i, j 分别标识网格在实际横纵坐标方向的序号, 便于网格的二维快速搜索。针对已经进行初次定位的移动终端, 其连续定位与跟踪问题是常见的定位需求场景, 在此情况下, 由于终端 MS 的移动速度有限, 连续定位结果应首先搜索原网格 G_{ij} 中 $P(i, j), P(i+1, j), P(i, j+1)$ 和 $P(i+1, j+1)$ 这 4 个参考点相连接的 8 个相邻网格, 然后依据终止条件逐次向外层网格搜索。因此, 在连续定位及跟踪模式下, 二维标识的网格结构只需先搜索相邻网格, 然后依次对 (i, j) 标识向 $(i \pm 1, j \pm 1), \dots, (i \pm n, j \pm n)$ 逐级向外搜索, 直至搜索到最小欧氏距离的最佳匹配网格, 根据网格参考点计算终端位置结果。以此类推, 减小了连续定位中网格搜索步数, 降低了计算量, 避免了每次定位均进行网格特征库的全部遍历搜索。

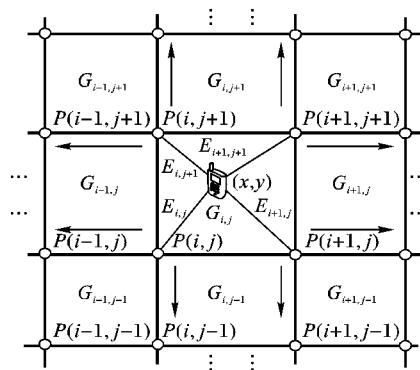


图 3 基于二维搜索的网格拓扑及搜索方向

3.2 基于二维网格搜索的融合特征参数匹配定位算法

若在线定位时终端 MS 采集到来自于 N 个 AP 的 RSSI 特征向量 $\mathbf{R} = [R_1, R_2, \dots, R_N]$, TDOA 特征向量为 $\mathbf{T} = [T_1, T_2, \dots, T_{N-1}]$, 特征数据库中网格参考节点的特征向量分别为 $\mathbf{R}^* = [R_1^*, R_2^*, \dots, R_N^*]$ 和 $\mathbf{T}^* = [T_1^*, T_2^*, \dots, T_{N-1}^*]$, 则 TDOA 和 RSSI 定位参数向量与数据库中参考节点特征向量之间欧氏距离 E_T 和 E_R 可表示如下:

$$\begin{cases} E_T = \left(\sum_{i=1}^{N-1} |T_i - T_i^*|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ E_R = \left(\sum_{i=1}^N |R_i - R_i^*|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (4)$$

1) 在网格匹配定位阶段, 首先分别计算终端检测的 TDOA 与 RSSI 特征参数向量与网格 G_{ij} 的参考顶点 $P(i, j)$ 特征向量的欧氏距离, 然后进行归一化和加权。若对于向量 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 定义归一化函数为: $Normal(\mathbf{X}) = (x_i - \min(\mathbf{X})) / (\max(\mathbf{X}) - \min(\mathbf{X}))$ ($i = 1, 2, \dots, n$), 则在网格参考顶点 P_{ij} 位置处的 TDOA 和 RSSI 归一化加权欧氏距离 E_{ij} 为:

$$E_{ij} = \lambda \cdot Normal\left(\left(\sum_{p=1}^{N-1} |T_{ij,p} - T_{ij,p}^*|^2\right)^{\frac{1}{2}}\right) + (1 - \lambda) \cdot Normal\left(\left(\sum_{p=1}^N |R_{ij,p} - R_{ij,p}^*|^2\right)^{\frac{1}{2}}\right) \quad (5)$$

其中 λ 为加权因子, $0 < \lambda < 1$ 。

2) 依次计算终端到每个网格 4 个顶点欧氏距离之和, 从而搜索最佳匹配网格:

$$F_{ij} = \sum_{m=i}^{i+1} \sum_{n=j}^{j+1} E_{mn} \quad (6)$$

3) 根据最佳匹配原则选取最小 F_{ij} , 搜索最佳匹配网格 G_{ij} 如式(7) :

$$G_{ij} = Num(I, J) |_{F_{ij} = \min(F_{ij})} \quad (7)$$

4) 确定定位终端所处的网格 G_{ij} 后, 采用终端到网格 4 个顶点的加权欧氏距离来估计终端在网格 G_{ij} 内的位置坐标 (\hat{x}, \hat{y}) :

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{\sum_{m=i}^{i+1} \sum_{n=j}^{j+1} \frac{1}{E_{mn}} (x_{mn}, y_{mn})}{\sum_{m=i}^{i+1} \sum_{n=j}^{j+1} \frac{1}{E_{mn}}} \quad (8)$$

其中: (x_{mn}, y_{mn}) 为网格 G_{ij} 的 4 个参考顶点位置坐标, E_{mn} 为终端与网格顶点 $P(m, n)$ 的特征向量间的归一化欧氏距离。

5) 针对二维网格搜索的连续定位, 则由当前定位网格 G_{ij} , 首先遍历搜索 $G_{i-1,j+1}, G_{i,j-1}, G_{i+1,j}, G_{i+1,j+1}, G_{i+1,j-1}, G_{i-1,j+1}, G_{i-1,j-1}$; 然后, 依次搜索外围网格 $G_{i+k,j+l}$ ($k = \{\pm 1, \pm 2, \dots, \pm L\}$, $l = \{\pm 1, \pm 2, \dots, \pm L\}$, 其中 L 为搜索层终止阈值), 直至搜索至最佳网格匹配, 即第 L 层网格对应加权欧氏距离均大于第 $L-1$ 层网格的加权欧氏距离可以终止搜索。此时已完成最佳网格匹配估计, 在 $L-1$ 层中选取最小欧氏距离网格作为最佳匹配网格由式(8) 完成定位估计。

4 仿真及分析

为分析算法性能, 网格匹配定位仿真实验选取一个长宽为 $46 \text{ m} \times 32 \text{ m}$ 的会议室环境, 室内设置 5 个 AP 覆盖整个区域, 发射功率为 20 dBm , 天线高度 2.7 m , 接收机高度 1.2 m , 室内搭建仿真环境如图 4 所示。

将室内区域均匀划分 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 网格, 在各网格顶点 RP

处采集 RSSI 和 TDOA 参数进行统计预处理, RSSI 和 TDOA 均值及标准差作为网格顶点 RP 的特征参数, 由此构建特征向量数据库。

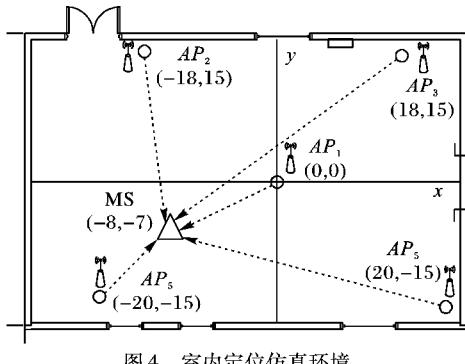


图 4 室内定位仿真环境

在定位阶段, 根据式(5)~(8)完成最佳网格匹配和终端位置估计。其中 TDOA 测量噪声标准差 $\sigma_{\text{TDOA}} = 10 \text{ ns}$, RSSI 噪声标准差 $\sigma_{\text{RSSI}} = 4 \text{ dBm}$, 在选定测试点在不同的测量噪声下进行 300 次蒙特卡罗实验。采用 TDOA-RSSI 加权匹配算法进行位置估计, 定位结果误差分布如图 5 所示。统计得出定位误差优于 3 m 的概率为 94.7%; 在 3 m 网格粒度 ($3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 网格) 和 2 m 网格粒度 ($2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 网格) 条件下, 本文算法与传统的单一 RSSI 参数模型法进行定位性能比较, 定位性能对比如表 1 所示。本文算法在 3 m 网格粒度条件下, 平均定位误差 $E_R = 1.865 \text{ m}$, 定位均方根误差 $\sigma_L = 1.079 \text{ m}$, 优于单一 RSSI 模型法的平均定位误差 (2.862 m) 和均方根误差 (2.123 m), 定位误差可满足室内定位要求。在不同网格粒度下, 本文算法的平均定位误差、定位均方根误差及累计分布函数 (Cumulated Distribution Function, CDF) 的概率 CDF(3) 参数等均优于单一 RSSI 模型法的定位结果。当增加参考网格节点数量时, 由于定位信号随机特性的制约, 定位精度仅在一定程度上有所提高, 但特征数据采集量和匹配计算量会相应明显增加。

表 1 定位方法性能对比

算法	网格粒度	平均定位误差/m	定位均方根误差/m	3 m 精度概率 CDF(3)/%
单一 RSSI 模型法	3 m 网格	2.862	2.123	75.1
本文算法	3 m 网格	1.865	1.079	94.7
本文算法	2 m 网格	1.848	1.055	95.5

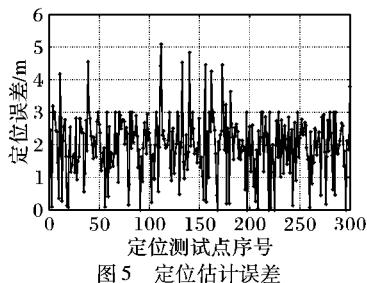


图 5 定位估计误差

在 RSSI 标准差 $\sigma_{\text{RSSI}} = 4 \text{ dBm}$ 的条件下, 给定不同的 TDOA 参数测量误差进行仿真。TDOA 对应的测距标准差 σ 在 2 m 到 5 m 变化, 定位误差的累积分布函数 CDF 如图 6 所示。实验结果表明, 随着 TDOA 测距标准差减小, 定位精度有较为明显的提高, $\sigma = 5 \text{ m}$ 时定位精度优于 3 m 的概率为 80.2%; $\sigma = 2 \text{ m}$ 时, 定位精度优于 3 m 的概率达到 96.7%。

TDOA 参数对定位精度的改善较为显著, 通过 TDOA 与 RSSI 参数归一化后联合参与匹配定位, 可有效减小在低信噪比条件下 RSSI 参数定位的定位误差。

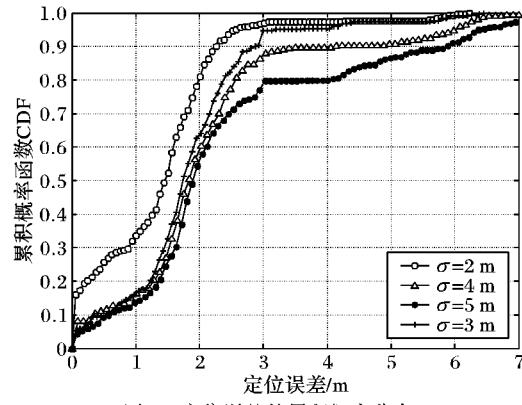


图 6 定位误差的累积概率分布

5 结语

为了进一步解决室内定位信号强度 RSSI 的随机时变特性引起的定位噪声问题, 本文提出了一种新的基于 RSSI-TDOA 网格融合特征参数的室内匹配定位算法。该算法将 TDOA 和 RSSI 参数应用于室内网格匹配定位模型, 采用归一化加权欧氏距离进行最佳匹配定位以削弱定位噪声; 基于网格融合特征参数向量的最优匹配定位有效增强了输入定位特征的判别力, 提高了定位估计的准确度。实验结果表明, 本文提出的网格特征参数匹配定位算法能够综合利用时延参数的相对稳定性和信号强度的区分度, 明显提高了定位精度, 在 3 m 网格粒度下的平均定位误差小于 1.865 m; 同时二维网格快速搜索方法降低了匹配定位的计算量, 提高了定位算法的速度。

参考文献:

- [1] DENG Z, YU Y, YUAN X, et al. Situation and development tendency of indoor positioning [J]. China Communications, 2013, 10 (3): 42–55.
- [2] DANG X, LI X. Weighted correction model in wireless sensor network localization [J]. Journal of Computer Applications, 2012, 32 (2): 355–358. (党小超, 李小艳. 无线传感器网络节点定位加权校正模型[J]. 计算机应用, 2012, 32(2): 355–358.)
- [3] DENG Z, XU Y, MA L. Energy efficient access point selection and signal projection for accurate indoor positioning [J]. China Communications, 2012, 9(2): 52–65.
- [4] FANG S-H, LIN T-N. A dynamic system approach for radio location fingerprinting in wireless local area networks [J]. IEEE Transactions on Communications, 2010, 58(4): 1020–1025.
- [5] XU Y, DENG Z, MA L. WLAN indoor positioning algorithm based on KDDA and SVR [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(4): 896–901. (徐玉滨, 邓志安, 马琳. 基于核直接判别分析和支持向量回归的 WLAN 室内定位算法[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(4): 896–901.)
- [6] LEE Y C, PARK S H. RSSI-based fingerprint map building for indoor localization [C]// URAI 2013: Proceedings of the 2013 10th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence. Piscataway: IEEE, 2013: 292–293.

(下转第 2471 页)

10 m/s时,ARB-AODV 协议的平均端到端时延比 AODV 协议降低了40%左右,并且基本维持在较低的时延水平。

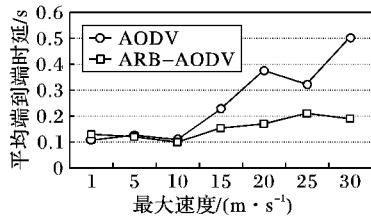


图6 平均端到端时延对比

4 结语

本文针对 AODV 路由算法的边缘效应问题,设计了一种避免路由断裂的优化 AODV 算法,通过检测节点接收功率是否达到预先设定的阈值来判断链路断裂的可能性,在即将断裂的链路处插入稳定性较高的节点,从而避免路由断裂,有效地减少了修复次数和源节点重路由次数。在 NS-2 平台上设置多种场景进行仿真,结果表明,改进协议 ARB-AODV 在分组投递率、路由开销和平均端到端时延方面均优于原 AODV 协议,有效地提高了网络性能。

参考文献:

- [1] CHLAMTAC I, CONTI M, LIU J. Mobile Ad Hoc networking: imperatives and challenges [J]. *Ad Hoc Networks*, 2003, 1(1): 13 – 64.
- [2] PERKINS C, BELDING-ROYER E, DAS S. RFC3561, Ad Hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing [S]. Geneva: IETC, 2003.
- [3] SRINIVASAN P, KAMALAKANNAN P. Enhancing route maintenance in RSEA-AODV for mobile Ad Hoc networks [C]// ISCO2013: Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Systems and Control. Piscataway: IEEE, 2013: 464–469.
- [4] XIA H, JIA Z, ZHANG Z. A link stability prediction-based multi-cast routing protocol in mobile Ad Hoc networks [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2013, 36(5): 926 – 936. (夏辉,贾智平,张志勇. 移动 Ad Hoc 网络中基于链路稳定性预测的组播路由协议 [J]. 计算机学报, 2013, 36(5): 926 – 936.)
- [5] KUPPUSAMY P, THIRUNAVUKKARASU K, KALAAVATHI B. A study and comparison of OLSR, AODV and TORA routing protocols in Ad Hoc networks [C]// ICECT2011: Proceedings of the 3rd International Conference on Electronics Computer Technology. Piscataway: IEEE, 2011: 143 – 147.
- [6] WANG Y, ZHOU Y, YU Y, et al. AD-AODV: A improved routing protocol based on network mobility and route hops [C]// WiCOM2012: Proceedings of the 2012 8th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Piscataway: IEEE, 2012: 1 – 4.
- [7] DU Q, ZHU J, ZHANG E. Optimized AODV routing protocol based on reverse route search in leisure time and route learning [J]. *Journal on Communications*, 2011, 32(8): 64 – 71. (杜青松,朱江,张尔扬. 基于闲时逆寻和路由学习机制的优化 AODV 路由协议 [J]. 通信学报, 2011, 32(8): 64 – 71.)
- [8] XIAO B, GUO W, LIU J, et al. Research on local route repair algorithm in mobile Ad Hoc networks [J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2007, 44(8): 1383 – 1389. (肖百龙,郭伟,刘军,等. 移动自组网路由局部修复算法的研究[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(8): 1383 – 1389.)
- [9] YANG R, LI Z. A stability routing protocols base on reverse AODV [C]// ICCSNT2011: Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology. Piscataway: IEEE, 2011: 2419 – 2423.
- [10] XU W, CHAO A. Improvement of AODV routing protocol in Ad Hoc networks [J]. *Computer Applications and Software*, 2013, 30 (3): 225 – 228. (徐文涛,晁爱农. 一种移动 Ad Hoc 网 AODV 路由协议的改进方法[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(3): 225 – 228.)
- [11] RAPPAPORT T S. *Wireless communications: principles and practice* [M]. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1996.
- [12] LI S, LI X, FENG Q. An improved AODV local repair algorithm based on delay constraint [C]// ICSP2012: Proceedings of 2012 IEEE 11th International Conference on Signal Processing. Piscataway: IEEE, 2012: 2212 – 2216.
- [13] The network simulator — NS-2 [EB/OL]. [2014 – 02 – 17]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

(上接第 2467 页)

- [7] ZHAO Y, ZHOU H, CHEN M, et al. Application of Kalman filter in indoor positioning system for real-time tracking [J]. *Journal of Wuhan University: Natural Science Edition*, 2009, 55(6): 696 – 700. (赵永翔,周怀北,陈森. 卡尔曼滤波在室内定位系统实时跟踪中的应用[J]. 武汉大学学报: 自然科学版, 2009, 55(6): 696 – 700.)
- [8] KAEMARUNGSI K, KRISHNAMURTHY P. Analysis of WLAN's received signal strength indication for indoor location fingerprinting [J]. *Pervasive and Mobile Computing*, 2012, 8(2): 292 – 316.
- [9] FANG S-H, LIN T-N. Principal component localization in indoor WLAN environments [J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2012, 11(1): 100 – 110.
- [10] YOUSSEF M, AGRAWALA A. The Horus location determination system [J]. *Wireless Networks*, 2008, 14(3): 357 – 374.
- [11] YANG G, KONG Y, ZHONG Z, et al. Multimode-fingerprint matching based indoor positioning system design and implementation [J]. *Computer Engineering and Design*, 2013, 34(5): 1896 – 1900. (杨广龙,孔勇平,钟致民,等. 基于多模指纹匹配的室内定位系统设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(5): 1896 – 1900.)
- [12] WAN G, ZHONG J, YANG C. Improved algorithm of ranging and locating based on RSSI [J]. *Application Research of Computers*, 2012, 29(11): 4156 – 4159. (万国峰,钟俊,杨成慧. 改进的 RSSI 测距和定位算法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(11): 4156 – 4159.)
- [13] XIA Y, WANG L, LIU Z. Hybrid indoor positioning method based on WLAN RSS analysis [J]. *Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition*, 2012, 24 (2): 217 – 221. (夏英,王磊,刘兆宏. 基于无线局域网接收信号强度分析的混合室内定位方法[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2012, 24(2): 217 – 221.)
- [14] YANG X, YE A, LING Y. Indoor localization algorithm based on threshold classification and signal strength weighting [J]. *Journal of Computer Applications*, 2013, 33(10): 2711 – 2714. (杨小亮,叶阿勇,凌远景. 基于阈值分类及信号强度加权的室内定位算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(10): 2711 – 2714.)
- [15] FU K, LEI Y, YAN J. Distributed weighted node localization algorithm based on Euclidean correction [J]. *Journal of Computer Applications*, 2011, 31(12): 3215 – 3218. (付锴,雷勇,颜嘉俊. 基于 Euclidean 修正的分布式加权定位算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(12): 3215 – 3218.)