·通信与信息工程 ·

基于CFR的角度/距离联合单站定位

田增山,张千坤*,周 牧,李 泽

(重庆邮电大学通信与信息工程学院 重庆 南岸区 400065)

【摘要】单站定位在室内定位中起着至关重要的作用。大多数室内定位算法都是联合多个Wi-Fi接入点(AP)进行定位,在 只有w单个AP时定位精度很低甚至无法定位。针对室内环境中普遍存在的单AP定位情况,该文首先利用现有的三天线商用 Wi-Fi网卡采集无线信道频率响应信息(CFR)进行信号到达角(AOA)估计。其次利用CFR幅值信息通过信号传播模型进行距离估 计。提出了一种基于AOA和信号到达时间(TOA)二维聚类信息的直射路径识别算法。最后,利用现有的三天线Wi-Fi设备在室 内进行了测角、测距以及定位测试,实验结果表明该文提出的单站定位系统在室内环境下中值误差可以达到1.3 m的定位精度, 满足室内定位的需求。

关键词 信号到达角; 信道频率响应; 单站定位; 信号到达时间 中图分类号 TN96 文献标志码 A doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2019.05.006

Joint Angle / Distance Localization with Single Station Based on CFR

TIAN Zeng-shan, ZHANG Qian-kun*, ZHOU Mu, and LI Ze

(School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications Nan'an Chongqing 400065)

Abstract Single station localization plays an important role in indoor localization. Most of the indoor localization algorithms are combined with multiple Wi-Fi access points (APs) to locate, the localization accuracy is low or even unable to locate when there is only a single AP. In terms of the ubiquitous single AP localization situation, the channel frequency response (CFR) of the commercial three-antenna Wi-Fi network card is used to estimate the angle of arrival (AOA). The CFR amplitude information is applied to estimate the distance from the signal propagation model. Further, we presents a direct path identification algorithm based on the two-dimensional clustering information of AOA and time of arrival (TOA) and use the existing Wi-Fi device with three antennas to measure the angle, distance and localization in the indoor room. The experimental results show that the proposed localization system can achieve a median error of 1.3 m, and can meet the needs of indoor positioning.

Key words angle of arrival; channel frequency response; single station localization; time of arrival

近年来,随着WLAN和无线传感器网络的发展, 室内位置服务已成为了当下最重要的服务需求之 一。在室外定位方面,主要采用卫星导航进行定位。 但在一般的室内环境下,卫星导航信号会受到建筑 物的遮挡,使得定位精度相比室外出现严重的偏差, 无法用于室内定位^[1]。

目前的室内定位技术主要基于无线局域网、蓝 牙^[2]、红外^[3]、可见光^[4]、传感器^[5]、射频识别^[6]等 技术。由于成本造价、系统复杂度和稳定性等因素, 限制了蓝牙、超宽带、红外、可见光的大规模应用; 射频识别受限于功率只能用于近距离定位;基于传 感器的室内定位技术需要移动终端装有运动传感器,例如加速度计、陀螺仪,但不是所有移动终端都能满足。由于WLAN的分布范围广、造价低,因此基于WLAN的定位方法被广泛使用。基于WLAN的定位系统包括以下3种方式:基于阵列天线估计到达角的定位技术、基于接收信号强度(received signal strength, RSS)的室内指纹定位技术和基于信号到达飞行时间的定位技术。基于RSS的室内指纹定位技术^[7]一般包括离线和在线两个阶段,在离线阶段需要消耗很长时间采集信号强度指纹库,而且由于环境不是一直保持不变,需要及时对指纹库进行更新;

收稿日期: 2017-10-09; 修回日期: 2019-01-02

基金项目:国家自然科学基金(61771083, 61704015);长江学者和创新团队发展计划(IRT1299);重庆市基础与前沿研究计划(cstc2015jcyjBX0065); 重庆市高校优秀成果转化项目(KJZH17117)

作者简介:田增山(1968-),男,教授,主要从事移动通信、个人通信、GPS及蜂窝网定位系统及其应用技术方面的研究. 通信作者:张千坤,E-mail:835242529@qq.com

基于飞行时间的室内定位技术^[8]需要终端与AP之间 的时钟高度同步^[9]或需要特殊的硬件设备^[10-11]且精 度依赖于LOS(line-of-sight)环境;基于到达角的定位 系 统则 采 用 多 信 号 分 类 算 法 ^[12](multiple signal classification, MUSIC)来估计无线信号的AOA,但是 该算法要求天线数量大于路径数,通常室内存在6~ 8个主要多径信号^[13],因此AP需要很多根天线,这 对目前的商业AP是不行的。SpotFi^[14]通过重构CFR 信息来扩展天线的数量,在一定程度上解决了天线 数量限制的问题,但当存在多个相干信源时会造成 角度的估计精度下降。同时这些基于无线信号的室 内定位方法大都需要多个AP才能满足室内定位的 需求^[15-18],在复杂的室内环境下特别只有一个AP时 会出现无法定位的情况。

本文针对上述定位方法存在的问题以及单AP 下无法定位的情况,提出了一种新的室内定位方法。 该方法首先利用空间平滑技术对相干信源进行解相 干,实现室内多径信号的高精度AOA估计,其次将 采集到的CFR在时域进行滤波处理减小多径效应的 干扰,提高距离估计的精度,同时通过信号传播模 型结合一种自适应衰减因子更新技术实现室内环境 下目标到AP的距离估计。另外将聚类算法、离群点 检测算法与权值分析法结合,设计了一种直射径分 辨算法对多径信号进行分类并识别直射路径。最后 利用角度/距离联合定位算法结合目标到单个AP的 距离及直射路径的角度信息估计出目标的位置。

1 超分辨角度估计算法及单站定位

本文提出的基于CFR的角度/距离联合单站定位 的系统框图如图1所示。主要包括3个部分:超分辨 AOA估计算法、距离估计及直射径分辨算法、单站 定位算法。超分辨AOA估计算法主要利用CFR信息 虚拟出大规模的阵列天线并结合一种空间平滑技 术,解决了天线数量限制及相干信源干扰的问题, 实现了仅利用三天线商业AP对室内多径信号AOA 的精确估计。距离估计算法通过信号传播模型结合 一种自适应衰减因子更新技术,利用CFR的幅值信 息进行距离估计。直射路径分辨算法在获得AOA和 TOA二维信息的基础上,利用AOA和TOA信息进行 聚类来区分路径,并采用离群点检测算法来提高聚 类的准确性,最后利用权值选取直射路径。



1.1 超分辨AOA估计

MUSIC算法^[12]主要利用多个路径信号到达天 线阵列时相邻两根天线间的波程差进行角估计。根 据文献[19]可知,MUSIC算法需要的阵列天线数大 于多径信号的个数,否则无法从协方差矩阵中区分 出信号子空间与噪声子空间,造成角度估计出现错 误。当室内环境中存在相干信号时,信号子空间的 特征向量会扩散到噪声子空间,造成MUSIC算法估 计角度时会出现大的误差。

OFDM信号基于Wi-Fi信号,利用CFR信息对天 线数量进行扩展。在OFDM通信系统中对不同的子 载波信道频率响应为:

$$\operatorname{CFR}[f_n] = \sum_{k=1}^{D} \alpha_k \mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi(f_0 + n\Delta f)\tau_k}$$
(1)

式中, D表示信号路径; α_k 表示第 k 条路径的信号 衰减; τ_k 表示第 k 条路径的信号传播时间; f_n 为载 波频率, $f_n = f_0 + n\Delta f$; Δf 为相邻两个子载波之间 的频率差。本文通过Intel 5300^[20]无线商业网卡可以 采集128个子载波中30个子载波的CFR测量值。

在接收端,假设信号路径有*K*条,3根天线上采 集到的子载波CFR可以表示为:

 $H = \begin{bmatrix} h_{1,1} \cdots h_{1,30} & h_{2,1} \cdots h_{2,30} & h_{3,1} \cdots h_{3,30} \end{bmatrix}^{1} (2)$ 式中, $h_{m,n}(m = 1, 2, 3, n = 1, 2, \dots, 30)$ 表示第m根天线、 第n个子载波上的CFR。由式(1)和式(2)可知:

$$H = AX + N \tag{3}$$

式中, $N = [n_{1,1} \cdots n_{1,30} n_{2,1} \cdots n_{2,30} n_{3,1} \cdots n_{3,30}]^T$, 为 90×1维的噪声矩阵; $X = [\alpha_1 \alpha_2 \cdots \alpha_K]^T$, 为 $K \times 1$ 维 的路径衰减系数矩阵; $A = [\alpha(\theta_1, \tau_1) \alpha(\theta_2, \tau_2) \cdots$ $\alpha(\theta_K, \tau_K)]$ 为90×K维的方向矩阵。 $\alpha(\theta_k, \tau_k)$ 为 90×1维方向矩阵,可以写为:

 $\boldsymbol{\alpha}(\theta_{k},\tau_{k}) = [\boldsymbol{\alpha}_{1}(\theta_{k},\tau_{k}) \boldsymbol{\alpha}_{2}(\theta_{k},\tau_{k}) \boldsymbol{\alpha}_{3}(\theta_{k},\tau_{k})]^{T} \quad (4)$ 式 中 , $\boldsymbol{\alpha}_{m}(\theta_{k},\tau_{k}) = [\alpha_{m,1}(\theta_{k},\tau_{k}) \boldsymbol{\alpha}_{m,2}(\theta_{k},\tau_{k}) \cdots$ $\boldsymbol{\alpha}_{m,30}(\theta_{k},\tau_{k})] (m = 1,2,3) 为 第 m 根 天 线 上 接 收 到 的 第 k 条 路 径 的 30 × 1 维 的 方 向 矩 阵, 其 中:$

 $\alpha_{m,i}(\theta_k,\tau_k) = \mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi[(i-1)\Delta f\tau_k + d(m-1)\sin\theta_k f/c]} \quad i = 1, 2, \cdots, 30$ (5)

式中, Δf 表示子载波间隔; $\tau_k 和 \theta_k$ 表示第k条路径的时间与角度; d表示天线间隔; C表示光速。

R = E{**H**×**H**^H}
 (6)

 式中, **H**^H是**H**的共轭转置。由文献[15]可知,方向

 矩阵**A**与噪声矩阵的特征向量正交,由此可以得到

 AOA与TOA的空间谱:

$$\boldsymbol{P}_{\text{music}} = \frac{1}{\boldsymbol{\alpha}^{\text{H}}(\boldsymbol{\theta},\tau)\boldsymbol{E}_{N}\boldsymbol{E}_{N}^{\text{H}}\boldsymbol{\alpha}(\boldsymbol{\theta},\tau)}$$
(7)

式中, *E_N*表示噪声子空间的特征向量。由于相干 信号造成MUSIC算法误差较大,本文参考文献[14] 提出二维空间平滑(2D-SS)算法。

本文通过将第一个子阵列的相关矩阵移动到第 一个元素为 $h_{n,m} \times h_{n,m}$ 的位置作为下一个子阵列相关 矩阵,重复上述操作,直到天线和子载波的索引为 $L_1=3-N_{subl}+1$, $L_2=30-N_{sub2}+1$ 时截止,从而得到 所有子阵列的相关矩阵。本文根据需求将 N_{subl} 和 N_{sub2} 分别设置为2和15,平滑后每个子阵列天线数量 可以增加为 $L_1 \times L_2=32$ 。对协方差矩阵**R**进行二维空 间平滑:

$$\boldsymbol{R}_{\text{2D-SS}} = \frac{1}{L_1 \times L_2} \sum_{m=1}^{L_1} \sum_{n=1}^{L_2} \boldsymbol{R}_{m,n}$$
(8)

式中, $R_{m,n}$ 表示第($(n-1)L_2 + m$)个子阵列的相关矩阵; $h_{n,m} \times h_{n,m}$ 表示 $R_{m,n}$ 的第一个元素。经过平滑以后,信号子空间和噪声子空间会保持正交,可以准确估计出每条路径的AOA和TOA。

为了验证二维空间平滑算法在AOA估计中的有效性,本文利用MATLAB软件进行了仿真实验,试验中设置阵列天线为3个,相邻天线间距为半波长,使用30个载波频率间距为1.25 MHz的子载波,信号的中心频率为5.2 GHz。

本文设置AOA和TOA分别为-10°、20 ns, 20°、

40 ns, -30°、60 ns, 40°、80 ns, -50°、100 ns的5 个相干信源。图2为没有采用空间平滑后的仿真结 果,图3为采用空间平滑后的仿真结果。



从图2和图3可以看出,采用二维空间平滑算法可以有效地解决相干信号AOA与TOA估计的问题。

在Wi-Fi网络中,接收到的数据包在基带处理中 会引入一个随机时间,即包检测时延(packet detect delay, PDD),造成在TOF估计时有一个额外的时间, 使估计出的时间为TOA而不是真实的TOF, TOA=TOF+ τ_{delay} ,其中 τ_{delay} 为包检测时延。在接收 端收到不同数据包的PDD是随机的,由文献[21]可 知,第k个子载波由PDD产生的额外的相位偏移为 $-2\pi\Delta f(k-1)\tau_{delay}$ 。在Wi-Fi网络中 τ_{delay} 一般为3~6 个采样点所对应的时延,对本文使用的40 MHz带宽 信号来说 τ_{delay} 为75~150 ns,相比室内环境下信号平 均传播时延10 ns量级要大的多。因此本文提出的超 分辨AOA估计算法只能对角度进行准确的估计,无 法利用时间信息进行距离估计。

1.2 距离估计及直射径分辨算法

1.2.1 自适应信号传播模型的距离估计算法

室内环境下存在大量的多径信号,包括直射径 信号以及反射径信号,反射径信号由于经过墙壁、 地面或者其他物体的反射使原始信号在该路径上进 行了衰减,造成距离估计精度下降。信道脉冲响应 (channel impulse response, CIR)可以表征接收信号中 各个路径的信号强度和延时,由于直射径信号相比 反射径信号来说CIR幅值更高,本文将采集到的数据 进行快速傅里叶逆变换(inverse fast fourier transform, IFFT)处理得到CIR信息并将CIR信息通过低通滤波 器,选择CIR最大幅值的一半作为阈值进行低通滤 波,过滤掉大量的反射径信号,并将滤波后的CIR 进行快速傅里叶变换(fast fourier transform, FFT)得 到滤波后的CFR信息。

目前,常用的路径衰减模型为自由空间模型、 双线反射模型和对数-正态模型。其中,对数-正态 模型最符合室内环境中无线信号的路径衰减状况, 其表示形式为:

$$PL(d) = \overline{PL(d_0)} + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma}$$
(9)

式中, PL(*d*) 表示无线信号在自由空间传输距离*d* 后出现的损耗; $\overline{PL(d_0)}$ 表示在参考点 d_0 处信号损耗 的平均值; *n*为信号在传输时的损耗指数; X_σ 表示 信 号 被 遮 挡 产 生 的 衰 减 。 通 过 分 析 可 知 $PL(d) - \overline{PL(d_0)}$ 表示参考点 d_0 与*d*之间的信号损耗 值,若能测得此两点处的信号强度 p_0 和 p_R ,则信号 损耗值可以通过 $p_0 - p_R$ 来表示。因此在室内环境下 式(9)可简化为:

$$P_{\rm R} = P_0 - 10\gamma \,\mathrm{lg}(d) \tag{10}$$

式中, P_{R} 是接收到的信号能量值; P_0 是距离发送方 1 m处的能量值; d是待求的发送方和接收方之间的 距离; γ 是路径损耗系数,值越大表明信号损耗程 度越高:

$$P_{\rm R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{k} \text{CFR}_{\rm filter}(i) \times \text{conj}(\text{CFR}_{\rm filter}(i))$$
(11)

式中, CFR_{filter}(i)为每个数据包中第i个子载波滤波 后的CFR信息; k为每个数据包子载波的个数,设 k = 30。

但是对于不同的室内环境,路径损耗系数n是不同的,如果使用理想情况下的路径损耗系数则会造成距离估计精度误差较大。为了进行自适应,本文 在文献[22]的基础上提出了一种自适应传播模型,定 义环境因子ξ反映信号的衰减和遮挡情况:

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^{n} \text{CFR}_{\text{filter}}(i) \times \text{conj}(\text{CFR}_{\text{filter}}(i))}{\sum_{i=1}^{k} \text{CFR}(i) \times \text{conj}(\text{CFR}(i))} \quad k = 30 \quad (12)$$

在室内环境下选择多组d值已知的位置点,每个 位置点采集多个数据包,分别对每个位置点数据包 的ξ值和γ值进行解算,将得到的大量(ξ,γ)数据 利用最小二乘拟合得到ξ和γ之间的关系。即可通 过环境因子ξ间接的得到路径损耗系数,提高距离 估计的精度,因此本文将式(10)表示为:

$$P_{\rm R} = P_0 - 10\chi \, \lg\!\left(\frac{d}{d_0}\right) \tag{13}$$

式中, χ 表征的是路径损耗系数 γ 与环境因子 ξ 拟 合的一种线性关系。

1.2.2 直射径分辨算法

在室内环境下,直射路径相比于反射径来说比 较稳定,因此聚类的结果在AOA与TOA维度上的方 差比较小并且极值点的数目相比反射径来说也要 多,因此可以使用权重分配的识别方法^[14]。本文使 用仿射传播聚类算法^[23-24]对每条路径进行聚类,同 时使用离群点检测^[25]算法消除每个类的离群点,并 将聚类后的每个路径分配权值:

 $\omega_{k} = h(\alpha_{c}C_{k} - \alpha_{\theta}\sigma_{\theta_{k}} - \alpha_{\tau}\sigma_{\tau_{k}} - \alpha_{s}\tau_{k})$ (14)

式中, h为递增函数; $\sigma_{\theta_k} \ C_k \ \tau_k \ \sigma_{\tau_k}$ 为第k条 路径的角度方差、极值点个数、时间均值以及时间 方差; $\alpha_c \ \alpha_\theta \ \alpha_\tau \ \alpha_s$ 为极值点个数、角度方差、 时间方差以及时间均值分配的权重信息。本文根据 这4个因素对直射径判断的影响程度来分配这其权 值,权值最大的路径作为直射径。

1.2.3 角度/距离联合单站定位

联合超分辨算法估计出的角度与传播模型估计 出的距离信息,假设估计出的超分辨角度和距离分 别 θ 和d,建立定位模型,如图4所示。当AP的坐标 为 (x^{ap} , y^{ap})时,客户端的定位坐标 (x,y)为 $x = x^{ap} + x^{ap} d \cos \theta$, $y = y^{ap} + y^{ap} d \sin \theta$ 。





2 实验结果分析

2.1 实验环境

实验地点为室内环境重庆邮电大学逸夫楼520, 图5位测试环境的示意图,大小为7.5m×12.5m。在 该环境下布置一台装备Intel 5300无线网卡的接收机 作为AP。将每个AP外接3根天线,如图6所示,其中 天线间的间距设置为半波长。本文采用开源工具 Linux CSI toolkit^[20]采集AP的CFR,并将数据传到服务 器上对位置进行解算。解算位置的服务器在Windows 7 操作系统上运行,硬件配置为:处理器Inter(R) Core(TM) i3-2120,内存8 GB。本文采用三星S5手机 作为信号的发射源,并进行移动,同时本文采用激 光测距器提前计算测试点距离AP的位置以及角度。

2.2 直射路径的AOA估计

如图5所示,带标识的圆点表示测试点,本文在测试点*p*1采集数据,并将数据传送到解算服务器,服务器会利用多个数据包解算出目标和AP之间的AOA和TOA,其中空间谱和聚类结果如图7所示。





在室内环境下,由于RSSI稳定性较差^[27],利用 RSSI信息进行测距将造成很大的误差。本文分别利 用采集到的RSSI信息及CFR信息带入信号传播模型 进行测距。如图5所示,在室内环境下选择27个测试 点进行测试。首先在*p*2、*p*3、*p*4点采集200个数据包 的CFR数据进行计算得到600组(*ξ*, *γ*),对其进行

拟合得到 ξ 和 γ 的关系如图9所示。将其带入自适应 传播模型得到的结果如图10所示。从图中可以看出 利用RSSI信息测距误差为1 m以内的置信度为20%, 利用CFR测距误差为1 m以内的置信度为60%,精度 远远高于使用RSSI。



2.4 位置解算

单站定位系统SAIL^[28]通过利用从物理层提取的时间戳信息进行TOF估计,同时将TOF与MEMS结合,并利用航位推算技术完成单AP定位。本文通过与SAIL系统对比来验证本文提出算法的性能。

图11给出了27个测试点在LOS环境下SAIL系统 和本文提出的角度/距离联合单站定位算法的定位 误差,可以看出SAIL定位系统的中值位置误差为 2.5 m,角度/距离联合单站定位算法的中值位置误差 为1.3 m,定位精度远远高于SAIL定位系统,同时不 需要联合传感器的信息,只需要使用Wi-Fi信息便能 满足单AP下室内高精度位置服务的需求。



图11 SAIL算法与本文定位算法的累计误差分布对比

3 结束语

本文提出一种仅利用一台三天线商用AP即可

满足室内高精度位置服务的室内定位系统,该系统 首先提出一种适用于正交频分复用信号的超分辨角 度估计算法,利用现有的比较常见的硬件,可以精 确估计出多条路径的角度,同时提出一种基于聚类 的直射路径判断算法来提高角度估计的精度,另外 利用信道频率响应结合信号传播模型进行距离估 计,最后结合角度和距离信息实现单站定位。由于 该系统基于802.11n开发,利用了多天线以及OFDM 信号的特性,使得该系统很容易推广。

参考文献

- [1] LI Bing-hao, GALLAGHER T, DEMPSTER A, et al. How feasible is the use of magnetic field alone for indoor positioning[C]//International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation. Sydney, Australia: [s.n.], 2012: 1-9.
- [2] ZHUANG Y, YANG J, LI Y, et al. Smartphone-based indoor localization with bluetooth low energy beacons[J]. Sensors, 2016, 16(5): 596.
- [3] YANG Bo, LEI Yi-qun, YAN Bei. Distributed multi-human location algorithm using naive bayes classifier for a binary pyroelectric infrared sensor tracking system[J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 16(1): 1.
- [4] 吴楠, 王旭东, 胡晴晴, 等. 基于多 LED 的高精度室内可见光定位方法[J]. 电子与信息学报, 2015, 37(3): 727-732.
 WU Nan, WANG Xu-dong, HU Qing-qing, et al. Multiple LED based high accuracy indoor visible light positioning scheme[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2015, 37(3): 727-732.
- [5] 周瑞,罗磊,李志强,等.一种基于智能手机传感器的行 人室内定位算法[J]. 计算机工程,2016,42(11):22-26. ZHOU Rui, LUO Lei, LI Zhi-qiang, et al. An indoor pedestrian position algorithm based on smartphone sensor[J]. Computer Engineering, 2016, 42(11): 22-26.
- [6] WANG C, SHI Z, WU F. Intelligent RFID indoor localization system using a Gaussian filtering based extreme learning machine[J]. Symmetry, 2017, 9(3): 30.
- [7] HUSEN M N, LEE S. Indoor location sensing with invariant Wi-Fi received signal strength fingerprinting[J]. Sensors, 2016, 16(11): 1898.
- [8] KEMPKE B, PANNUTO P, CAMPBELL B, et al. Demo: Eavesdropping on polypoint: Scaling high-precision UWB indoor localization[C]//International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks. Graz, Austria: Junction Publishing, 2016: 277-278.
- [9] HOENE C, WILLMANN J. Four-way TOA and software-based trilateration of IEEE 802.11 devices[C]// IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. [S.I.]: IEEE, 2008: 1-6.
- [10] YOUSSEF M, YOUSSEF A, RIEGER C, et al. An asynchronous time-based location determination system[C]//International Conference on Mobile Systems. [S.1.]: ACM, 2006: 165-176.
- [11] STUART A G, STEVE B S. Sensor measurements for

Wi-Fi location with emphasis on time-of-arrival ranging[C]//IEEE Transactions on Mobile Computing. [S.I.]: IEEE, 2007: 1185-1198.

- [12] SCHMIDT R. Multiple emitter location and signal parameter estimation[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1986, 34(3): 276-280.
- [13] GJENGSET J, XIONG J, MCPHILLIPS G, et al. Phaser: Enabling phased array signal processing on commodity WiFi access points[C]//Proceedings of the 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. [S.1.]: ACM, 2014: 153-164.
- [14] KOTARU M, JOSHI K, BHARADIA D, et al. SpotFi: Decimeter level localization using WiFi[C]//ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication. [S.1.]: ACM, 2015: 269-282.
- [15] XIONG J, JAMIESON K. ArrayTrack: A fine-grained indoor location system[C]//USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementation. [S.I.]: USENIX Association, 2013: 71-84.
- [16] NANDAKUMAR R, CHINTALAPUDI K K, PADMANABHAN V N. Centaur: Locating devices in an office environment[C]//Proceedings of the 18th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 2012: 281-292.
- [17] CHINTALAPUDI K, PADMANABHAN I A, PADMANABHAN V N. Indoor localization without the pain[C]//Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Chicago: ACM, 2010: 173-184.
- [18] SEN S, LEE J, KIM K H, et al. Avoiding multipath to revive inbuilding WiFi localization[C]//Proceeding of the 11th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. [S.I.]: ACM, 2013: 249-262.
- [19] LAXMIKANTH P, SURENDRA L, RATNAM D V, et al. Enhancing the performance of AOA estimation in wireless communication using the MUSIC algorithm[C]//Signal Processing and Communication Engineering Systems. Guntur, India: IEEE, 2015: 448-452.
- [20] HALPERIN D, HU W, SHETH A, et al. Tool release: Gathering 802.11n traces with channel state information[J]. ACM Sigcomm Computer Communication Review, 2011, 41(1): 53.
- [21] XIE Y, LI Z, LI M. Precise power delay profiling with commodity WIFI[C]//International Conference on Mobile Computing and Networking. [S.I.]: ACM, 2015: 53-64.
- [22] ESCUDERO G, HWANG J G, PARK J G. An indoor positioning method using IEEE 802.11 channel state information[J]. Journal of Electrical Engineering & Technology, 2017, 12(3): 1286-1291.
- [23] 王开军,张军英,李丹,等. 自适应仿射传播聚类[J]. 自动化学报, 2007, 33(12): 1242-1246.
 WANG Kai-jun, ZHANG Jun-ying, LI Dan, et al. Adaptive affinity propagation clustering[J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 33(12): 1242-1246.
- [24] 程梦骑,赵龙,陶洪波,等.一种基于仿射传播聚类的 入侵检测方法[J]. 无线电工程,2013,43(11):4-7.
 CHENG Meng-ju, ZHAO Long, TAO Hong-bo, et al. An

intrusion detection approach based on affinity propagation clustering[J]. Radio Engineering, 2013, 43(11): 4-7.

- [25] TAN P N, MICHAEL S, VIPIN K. 数据挖掘导论[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
 TAN P N, MICHAEL S, VIPIN K. Introductin to data[M].
 Beijing: Posts and Telecom Press, 2011.
- [26] SEN S, LEE J, KIM K H, et al. Avoiding multipath to revive inbuilding WiFi localization[C]//Proceeding of the International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. [S.1.]: IEEE Computer Society, 2013: 249-262.
- [27] WU K, XIAO J, YI Y, et al. CSI-based indoor localization[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2013, 24(7): 1300-1309.
- [28] MARIAKAKIS A T, SEN S, LEE J, et al. Sail: Single access point-based indoor localization[C]//Proceedings of the 12th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. [S.I.]: ACM, 2014: 315-328.

编辑叶芳

《电子科技大学学报》征订启事

创刊于1959年的《电子科技大学学报》,经教育部批准, 为国家教育部校共办学术期刊,是全国最早的电子类期刊之 一,是以电子科学为主的综合性学术刊物。主要刊登:

 1)复杂性科学专栏:复杂系统、复杂网络、大规模网络 软件系统的复杂性分析与验证、人类动力学等;

2)人工智能专栏:图像和语音处理;深度学习;数据挖掘;机器学习;计算机视觉;机器感知与虚拟现实;自然语言处理和机器翻译;神经网络与智能计算;基于大数据的人工智能技术;人工智能应用;人工智能芯片设计与应用等;

3) 新型纳米材料与器件专栏:材料成分与结构设计;界面调控:电化学性能;器件研发;导带与价带;能量的转化与储存;半导体载流子输运等;

4) 通信与信息工程:电子通信、电子测量、电视技术、 雷达、电子对抗、遥控遥测、信息论、电磁场工程、天线、 微波理论与技术等;

5)物理电子学:等离子体物理、凝聚态物理、高温超导 技术、电子物理与器件等;

6) 自动化工程:控制理论与控制工程、检测技术与自动 化装置、模式识别与智能系统、测试计量技术及仪器、地图 制图学与地理信息工程等;

7) 计算机工程与应用:计算机系统结构、计算机软件与理论、计算机应用技术、信息安全、软件工程等;

8) 电子信息材料与器件:半导体物理与器件、电子材料 与元件等;

9) 光电子学工程与应用:光学工程、激光与光纤技术等;

10) 生物电子学: 神经信息科学与技术、生物医学信息 技术、生物物理科学与技术等;

11) 机械电子工程:机械制造及其自动化、机电系统、 机械设计及理论、精密仪器及机械等。

2001年《电子科技大学学报》进入了国家"双百期刊" 方阵;2002年获第二届国家期刊奖提名奖;2006年荣获首届 中国高校优秀科技期刊奖;2008年荣获第二届中国高校优秀 科技期刊奖:2009年全国高校科技期刊优秀编辑质量奖; 2010年荣获中国科技论文在线优秀期刊一等奖,第3届"中 国高校优秀科技期刊"奖,首届"四川省高校精品科技期刊" 奖;2011年荣获中国科技论文在线优秀期刊一等奖;2012年 荣获中国科技论文在线优秀期刊二等奖;2014年荣获"中国 科技论文在线优秀期刊一等奖",第二届"四川省高校精品 科技期刊奖";2015年荣获"四川省高校科技期刊优秀编辑 部";2016荣获"第三届四川省高校精品科技期刊奖";2017 年荣获"中国高校科技期刊优秀团队""中国高校科技期刊 优秀网站"及"四川省高校科技期刊优秀编辑部"。2018年 获"2018年度中国高校百佳科技期刊"(全国120/1600种)。

《电子科技大学学报》被美国《工程索引》的Ei Compendex数据库等20个数据库和文摘杂志摘录。

本刊的阅读对象主要是从事上述学科、专业类的教学、 科研人员、研究生、大学本科生及工程技术人员。

《电子科技大学学报》为双月刊(单月30日出版),国内 外公开发行,需订阅《电子科技大学学报》的单位和个人, 请向当地邮局办理订阅手续。

刊号: ISSN 1001-0548 CN51-1207/T 国内发行代号: 62-34 国外发行: 中国出版对外贸易总公司(北京782信箱) 开本: 880×1230 大16 印张: 10 定价(国内): 25.00 元 本刊通信地址:成都市成华区建设北路二段4号《电子 科技大学学报》编辑部 邮政编码: 610054 电话: 028-83202308, 028-83207559

E-mail: xuebao@uestc.edu.cn

网址: http://www.juestc.uestc.edu.cn