اولین همایش ملی پیشرفت های تکنولوژی در مهندسی برق، الکترونیک و کامپیوتر

First National Conference of Technology Developments on Electronical, Electronics and Computer Engineering

. . . W W W . T D E C O N F . I R . . .

بهره‌گیری از تکنیک خوشه‌بندی توأم در موقعیت‌یابی کاربران سیار شبکه‌های محلی بی‌سیم

علی قوامی، فاطمه اسحقی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، دانشگاه پیام نور واحد تهران شمال

نویسنده مسئول : علی قوامی

۱- چکیده

اطلاعات موقعیت بزرگترین اهمیت را در هوش محیطی آگاه از زمینه، فضای هوشمند، نظارت ترافیک، شبکه مراقبتی و سرویس‌های ارتباطات تعاونی دارا می‌باشد. در این مقاله، تکنیکی برای موقعیت‌یابی کاربران سیار شبکه‌های محلی بی‌سیم (*WLAN*)[1]، **تکنیک خوشه‌بندی توأم**[2]، ارائه می‌کنیم که از **توزیع‌های احتمال شدت سیگنال** برای اشاره به کانال بی‌سیم پراغتشاش و از **خوشه‌بندی موقعیت کاربران سیار** برای کاهش هزینه‌ی محاسباتی جستجوی نقشه‌ی رادیو بهره می‌برد. تکنیک خوشه‌بندی توأم، از طریق فراسوی مقیاس بزرگ، مقایسه با حالت فعلی تکنیک‌های هنری، اجازه پیاده‌سازی غیرمتمرکز بر خدمتگیرهای سیار، هزینه‌ی محاسباتی را کاهش می‌دهد. نتایج بدست آمده از پیاده‌سازی *iPAQ* مجهز به *802.11* نشان می‌دهد که تکنیک جدید، موقعیت کاربر سیار را به حدود ۲ متر با دقتی بیش از ۹۰ درصد، در اختیار قرار می‌دهد.

کلمات کلیدی: خوشه‌بندی- توزیع‌های احتمال- شبکه‌ی محلی بی‌سیم (*WLAN*)- نقشه‌ی رادیو- حداکثر درستنمایی

۲- مقدمه

اکثر سیستم‌ها نظیر: سیستم‌های [*5GPS*](*A. Bachrach, S. Prentice, R. He and N.* Roy)، ۲۰۱۱، سیستم‌های مبتنی‌بر سلول منطقه‌ی گسترده، سیستم‌های مبتنی بر اینفرارد (مادون قرمز)، سیستم‌های التراسونیک، سیستم‌های متنوع تصویری کامپیوتری، سیستم‌های تماس فیزیکی و سیستم‌های مبتنی بر فرکانس رادیو (*RF*)[3]،در طول سالیان متمادی به مشکل موقعیت‌یابی و بررسی موقعیت کاربران پرداخته‌اند که از این میان، طبقه‌ی سیستم‌های مبتنی بر *RF* که از یک شبکه داده بی‌سیم اساسی، مانند *802.11* که از آن برای تخمین موقعیت کاربر استفاده می‌کنند، اخیراً نظرها را به خود جلب کرده است بخصوص **برای کاربرد مکان‌های درونی**.

برخلاف سیستم‌های مبتنی بر مادون قرمز که در دامنه محدود هستند، تکنیک‌های مبتنی بر *RF* پوشش فراگیر بیشتری ارائه می‌کنند و به سخت‌افزارهای اضافی برای موقعیت‌یابی کاربر نیاز نداشته و در نتیجه ارزش شبکه داده‌ی بی‌سیم را افزایش می‌دهند. سیستم‌های مبتنی بر *RF* معمولاً در دو فاز عمل می‌کنند: **فاز موقعیت‌یابی** *Offline* **و فاز موقعیت‌یابی** *Online*. در خلال فاز *Offline*، شدت سیگنال دریافت‌شده از نقاط دستیابی، در موقعیت‌های انتخابی نقاط موردنظر، در نتیجه‌ی یک به‌اصطلاح **نقشه رادیو**، جدول‌بندی می‌شود. در حین فاز موقعیت‌یابی، نمونه‌های شدت سیگنال‌های دریافت‌شده از هر نقطه‌ی دستیابی برای جستجوی نقشه‌ی رادیو جهت تخمین موقعیت کاربر استفاده می‌شوند.(*P. Bahl and V. N. Padmanabhan. RADAR*، ۲۰۰۰)

نیاز است که در رابطه با سیستم‌های مبتنی بر *RF* به ویژگی های پر اغتشاش کانال بی‌سیم پرداخته شود. آن ویژگی‌ها منجر می‌شود که نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده در فاز آنلاین به‌طور قابل توجهی از آنهایی که در نقشه رادیوی ذخیره شده‌اند، منحرف شوند، شود و بنابراین دقت این سیستم‌ها را محدود می‌کند. بعلاوه، به منظور حفظ حریم کابر و ایجاد سیستم موقعیت قابل ارتقاء، رمز موقعیت‌یابی باید در واحد سیار اجرا شود. از آنجایی‌که دستگاه‌های سیار از لحاظ انرژی محدود هستند، کاهش الزامات محاسباتی سیستم موقعیت‌یابی الزامی است.

در این مقاله، یک سیستم دقیق و قابل ارتقا برای موقعیت‌یابی کاربر همراه با الزامات محاسباتی کمی در چارچوب *LAN* بی‌سیم *802.11* ارائه می‌کنیم. این سیستم دو مشخصه دارد: ۱- از توزیع‌های احتمال برای **افزایش دقت و بررسی ماهیت پراغتشاش کانال‌های بی‌سیم** استفاده می‌کند و ۲- از خوشه‌بندی موقعیت‌های نقشه برای **کاهش الزامات محاسباتی**. این تکنیک را به اختصار، **تکنیک خوشه‌بندی توأم** (***JC***) می‌نامیم. این سیستم را در یک فضای درونی به

[1] *Wireless Local Area Network (WLAN)*

[2] *Joint Clustring Technique*

[3] *Radio Frequency (RF)*

Archive of SID

www.SID.ir

گستردگی ۶۴۰۰ مترمربع ارزیابی کردیم. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که تکنیک خوشه‌بندی توأم موقعیت کاربر را با دقتی بیش از ۹۰ درصد تا ۲متری با الزامات محاسباتی پایین در اختیار قرار می‌دهد. (*S.-H. Fang, C.-H. Wang, S.-M. Chiou and P. Lin*،۲۰۱۲)

تکنیک‌های مبتنی بر نقشه رادیو را می‌توان به دو دسته عمده: **۱- تکنیک‌های قطعی** و **۲- تکنیک‌های مبتنی بر توزیع احتمال** تقسیم‌بندی نمود که در این مقاله به بررسی مورد دوم می‌پردازیم. بعلاوه، هیچ یک از سیستم‌های قبلی مسئولیت محاسباتی الگوریتم موقعیت‌یابی را در نظر نمی‌گیرند اما در این شیوه، خوشه‌بندی موقعیت‌های نقشه رادیو بعنوان دیدگاهی برای کاهش الزامات محاسباتی تکنیک‌های موقعیت‌یابی و افزایش ارتقاءپذیری سیستم را ارائه می‌دهیم. در ادامه، در بخش ۳ این مقاله، ویژگی‌های پر اغتشاش کانال بی‌سیم را شرح می دهیم. در بخش ۴ جزئیات ساخت نقشه رادیو و تخمین موقعیت با تکنیک خوشه‌بندی توأم ارائه می‌شود. در بخش ۵، ارزیابی تکنیک ها را در فضای درونی و نتایج بدست آمده را شرح می دهیم. سرانجام بخش ۶ نتیجه گیری از مقاله است و مسیر ها را برای بررسی های آینده ارائه می‌کند.

۳- ویژگی‌های کانال بی‌سیم

در این بخش، روند نمونه‌برداری؛ خود و ویژگی‌های پراغتشاش کانال بی‌سیم که مشکل موقعیت‌یابی شبکه‌ی محلی بی‌سیم (*WLAN*) را به مشکلی چالش برانگیز تبدیل می‌کند، را تشریح می‌کنیم.(*J. C. Ching, C. Domingo, K. Iglesia, C. Ngo and N. Chua*، ۲۰۱۳)

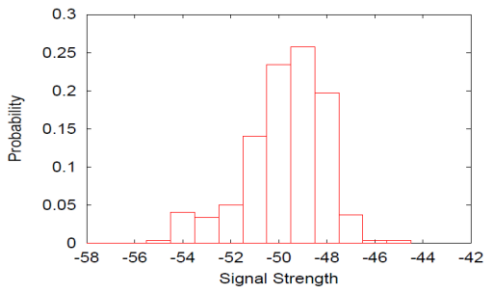
۳-۱- روند نمونه‌برداری

یک کاربرد کلیدی موردنیاز تمام سیستم‌های موقعیت‌یابی در شبکه‌ی محلی بی‌سیم (*WLAN*)، نمونه‌برداری شدت سیگنال است. در راستای این مقاله، از یک *Lucent Orinoco silver NIC* که تا سرعت داده‌ی *11 Mbit/s* را پشتیبانی می‌نماید، استفاده نموده و راه‌انداز (درایور) *Lucent Wavelan* را برای لینوکس طوری اصلاح کردیم که شدت سیگنال فریم‌های راهنما که از تمام نقاط دستیابی در دامنه‌ی *NIC* با استفاده از کاوشگری فعال دریافت شده است، را برگرداند. همچنین یک *API* بی‌سیمی را توسعه دادیم که به هر راه‌انداز دستگاه از طریق یک واسط متصل شده و از توسعه‌های بی‌سیم پشتیبانی می‌کند.(*H. Tirri, P. Misikangas, and J. Sievanen*،۲۰۰۲)

۳-۲- ویژگی‌های پراغتشاش

استاندارد *IEEE 802.11b*، از فرکانس‌های رادیو در باند بدون مجوز ۲/۴ گیگاهرتز استفاده می‌کند. اگرچه این آزادی مجوز به استفاده‌ی گسترده‌ی شبکه‌های مبتنی بر *802.11b* کمک می‌کند، اما مشکلات خاص خود را دارد. در باند ۲/۴ گیگاهرتزی؛ دستگاه‌های بلوتوث، تلتکنیک‌های بدون‌سیم ۲/۴ گیگاهرتزی، گازهای مایکروویو (ریز موج) و سایر دستگاه‌ها می‌توانند یک منبع تداخل باشند. بعلاوه، ۲/۴ گیگاهرتز فرکانس تشدید آب است و بدن انسان می‌تواند سیگنال *RF* را جذب کند.

محوسازی چندمسیره، پدیده‌ی مشترک دیگری در انتشار موج *RF* است. یک سیگنال مخابره شده می‌تواند با وجود مسیرهای متفاوت که هریک دامنه و فاز خود را دارند، به گیرنده برسد. این عناصر مختلف با یکدیگر ترکیب شده و یک نسخه توزیع‌شده از سیگنال مخابره‌شده را تولید می‌کنند. بعلاوه، هرگونه تغییرات در شرایط محیطی (مانند: درجه حرارت و یا رطوبت)، بر شدت سیگنال دریافت شده اثر می‌گذارند. شکل ۱، نمونه‌ای از نمودار نمودار بافت‌نگار (*Histogram*) مربوط به شدت سیگنال دریافت‌شده از یک نقطه‌ی دستیابی در موقعیتی ثابت را نشان می‌دهد. افرادی که در محیط حرکت می‌کنند؛ باز و بسته شدن درب‌ها و یا سایر تغییرات در محیط، می‌تواند تغییرات موقتی را که در این شکل نشان داده شده است، توضیح دهد.

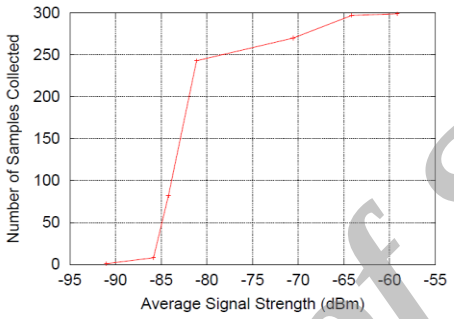


شکل ۱- مثالی از یک نمودار بافت‌نگار (*Histogram*) مربوط به شدت سیگنال نقطه‌ی دستیابی

Archive of SID

www.SID.ir

در ادامه، آزمایشی را برای بررسی رفتار نقاط دستیابی با دامنه‌ی متفاوت شدت سیگنال در موقعیتی مشابه انجام دادیم. در حین این آزمایش، از شدت سیگنال هر نقطه‌ی دستیابی به سرعت یک نمونه در هر ثانیه، نمونه‌برداری کردیم. شکل ۲، رابطه ی بین متوسط شدت سیگنال دریافت‌شده از یک نقطه‌ی دستیابی و درصد نمونه‌هایی را که از آن در یک دوره‌ی ۵ دقیقه‌ای دریافت کردیم، نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که تعداد نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از یک نقطه‌ی دستیابی، یک تابع صعودی یکنواخت از شدت سیگنال متوسط این نقطه‌ی دستیابی می‌باشد. با فرض سطح ثابتی از نویز، هرچه شدت سیگنال بالاتر باشد، سیگنال به ضریب نویز بالاتر می‌رود و احتمال اینکه کارت *802.11b*، وجود یک بسته را شناسایی کند بیشتر است. نقاط کوچک (در حدود *81 dBm-*) را می‌توان اینطور توضیح داد که حساسیت گیرنده برای کارتی که ما از آن استفاده می‌کنیم، *82 dBm-* (حدود *11 Mbps*) است. بطور خلاصه، شکل ۱ و ۲ ویژگی‌های کانال بی‌سیم را مشخص می‌کنند: الف. در یک موقعیت ثابت، شدت سیگنال دریافت‌شده از یک نقطه‌ی دستیابی، با زمان تغییر می‌کند. ب. تعداد نقاط دستیابی پوشش دهنده‌ی یک موقعیت، با زمان تغییر می‌کند.



شکل ۲- رابطه‌ی بین متوسط شدت سیگنال یک نقطه‌ی دستیابی و درصد نمونه‌های دریافت‌شده از آن

۴- تکنیک خوشه‌بندی توأم

در این بخش ، تکنیک خوشه‌بندی توأم که به این ویژگی‌های پراغتشاش اشاره می‌کند، را ارائه می‌نماییم. یک خوشه را به‌عنوان مجموعه‌ای از موقعیت‌هایی که با یک مجموعه از نقاط دستیابی مشترک است، تعریف می‌کنیم. این مجموعه‌ی مشترک نقاط دستیابی را، اصطلاحاً **کلید خوشه** می‌نامیم. تکنیک خوشه‌بندی توأم، از توزیع‌های احتمال مشترک شدت سیگنال از نقاط دستیابی مختلف، برای کشف محتمل‌ترین موقعیت کاربر با توجه به مقادیر شدت سیگنال مشاهده شده، استفاده می‌کند. به‌علاوه اینکه، این تکنیک، از خوشه‌بندی برای کاهش مازاد محاسباتی استفاده می‌کند. بنابراین، عمل تکنیک خوشه‌بندی توأم را می‌توان به دو فاز: **۱- فاز *Offline***، که در آن تخمین توزیع مشترک و خوشه‌بندی موقعیت‌ها را انجام می‌دهیم و **۲- فاز *Online***، که در آن تکنیک موقعیت‌یابی برای پی‌بردن به موقعیت کاربر را اجرا می‌کنیم؛ تقسیم کرد که در ادامه به تشریح این دو فاز خواهیم پرداخت.(*D. Sanchez, J. M. Quinteiro, P.*، ۲۰۱۲)

۴-۱- فاز *Offline*

۴-۱-۱- تخمین توزیع احتمال مشترک

در هر موقعیت (از مجموعه‌ی موقعیت‌ها)، مدلی را برای توزیع احتمال مشترک نقاط دستیابی در آن موقعیت ذخیره می‌کنیم. بنابراین، نقشه‌ی رادیوی ایجادشده، به عنوان مجموعه‌ی مدل‌ها برای توزیع‌های احتمال مشترک ذخیره شده است. مشکل تخمین توزیع‌های مشترک را می‌توان به سه مشکل فرعی زیر تقسیم‌بندی کرد: الف- چگونه مقدار k را برای بُعد توزیع مشترک انتخاب کنیم؟ ب- کدام یک از k نقطه‌ی دستیابی از مجموعه نقاط دستیابی پوشش‌دهنده‌ی یک موقعیت خاص را برای شامل شدن در توزیع مشترک انتخاب نماییم؟ ج- چگونه توزیع مشترک بین k نقطه‌ی دستیابی انتخاب‌شده را برآورد کنیم؟

الف- تعیین بهترین مقدار برای k

در تعیین بهترین مقدار برای k، نیاز است که ما دو فاکتور را در نظر بگیریم: ۱) با افزایش k، روند تخمین زدن توزیع احتمال مشترک (مشکل فرعی شماره ۳) پیچیده‌تر می‌شود و ۲) به مقداری از k نیاز داریم که تمام موقعیت‌ها از طریق حداقل k نقطه‌ی دستیابی، در اکثر مواقع، تحت پوشش واقع شوند. فاکتور دوم دارای مهم بسیاری است چراکه تعداد نقاط دستیابی در یک موقعیت خاص با زمان تغییر می‌کند (شکل ۲). فاکتور دوم با کاهش تأثیر تغییرپذیری در تعداد نقاط دستیابی، منجر به افزایش دقت می‌شود (مقادیر نمونه برای پارامتر k را می‌توانید در بخش ۵ بیابید).

ب- انتخاب k نقطه‌ی دستیابی

Archive of SID

www.SID.ir

چنانچه تعداد نقاط دستیابی پوشش‌دهنده‌ی یک موقعیت با زمان تغییر کند، کدام نقاط دستیابی را باید انتخاب کنیم؟ نقاط دستیابی (که در اکثر مواقع در نمونه‌ها ظاهر می‌شوند) می‌باید بطور ذهنی، انتخاب نمود. شکل ۲ پیشنهاد می‌کند که باید از k نقطه‌ی دستیابی با بزرگترین مقادیر شدت سیگنال در هر موقعیت استفاده کنیم. بطور خلاصه، برای یک موقعیت خاص l، k نقطه دستیابی قوی‌تر که این موقعیت را پوشش می‌دهند، انتخاب می‌کنیم.

ج- تخمین توزیع احتمال مشترک

توزیع احتمال مشترک را می‌توان به روش‌های مختلف با سطوح مختلف دقت تخمین زد. مشکل را می‌توان به این صورت بیان کرد: با توجه به k نقطه‌ی دستیابی $AP_1, ..., AP_k$، می‌خواهیم $P(AP_1=s_1, ...,AP_k=s_k)$ را برآورد کنیم که s_i یک مقدار شدت سیگنال از AP_i است. یک روش مناسب برای تخمین توزیع مشترک، استفاده از روش برآورد حداکثر درستنمایی است که احتمالات مشترک را به صورت زیر تخمین می‌زند:

$$P\left[(AP_1=s_1),...,(AP_k=s_k)\right]=\frac{Count(s_1,s_2,...,s_k)}{\text{n (Training Data)}} \quad (۱)$$

به‌عبارت دیگر؛ حاصل تقسیم تعداد زمان‌هایی که سطرهای رابطه مقدار شدت سیگنال $(s_1,s_2,...,s_k)$ در کل مجموعه ظاهر می‌شود به اندازه‌ی مجموعه‌ی آموزشی.

مشکل این دیدگاه این است که به یک مجموعه‌ی آموزشی بزرگ برای بدست آوردن برآورد مناسب از توزیع مشترک نیازمندیم و اندازه‌ی موردنیاز، با k افزایش می‌یابد. بنابراین، این دیدگاه را می‌توان تنها با مقادیر کوچکی از k که ممکن است بر دقت تکنیک اثر گذار باشد، استفاده نمود. از آنجایی‌که هدف ما استفاده از روشی بود که دقت مناسبی را ارائه دهد، و در زمانی مشابه، نیاز به مقادیر معقولی از داده‌های آموزشی و نیروی محاسباتی داشته باشد، تصور می‌کنیم که نقاط دستیابی مستقل هستند. این فرضیه، برای یک شبکه *802.11* بخوبی طراحی شده (که هر نقطه‌ی دستیابی در یک کانال غیرهمپوش اجرا می‌شود)، قابل توجیه است. بعلاوه، استقلال، یک فرضیه‌ی پایه‌ای مشترک است که در بخش ۳-۳ بدان پرداخته شده است. بنابراین، مشکل تخمین توزیع احتمال مشترک، به مشکل تخمین توزیع‌های احتمال حاشیه‌ای تبدیل شده است.

$$P\left[(AP_1=s_1),...,(AP_k=s_k)\right]=P(AP_1=s_1)\times...\times P(AP_k=s_k) \quad (۲)$$

برای یک موقعیت خاص، $P(AP_i=s_i)$ را می‌توان با استفاده از نمودار نمودار بافتنگار هنجارشده‌ی نقطه‌ی دستیابی AP_i در آن موقعیت تخمین زد. شکل ۱، نمونه‌ای از نمودار نمودار بافتنگار هنجارشده‌ی شدت سیگنال از یک نقطه‌ی دستیابی را نشان می‌دهد.(*P. Castro, P. Chiu, T. Kremenek, and R. Muntz*، ۲۰۰۱)

۴-۱-۲- خوشه‌بندی موقعیت

به منظور کاهش مازاد محاسباتی، ما موقعیت‌ها را به خوشه‌هایی مطابق با نقاط دستیابی که موقعیت‌ها را پوشش می‌دهند، گروه‌بندی می‌کنیم. این مشکل را می‌توان چنین بیان نمود: با توجه به یک موقعیت l، می‌خواهیم خوشه‌ای را که l بدان تعلق دارد، تعیین کنیم.

آشکارترین روش برای انجام خوشه‌بندی، گروه‌بندی موقعیت‌ها مطابق با نقاط دستیابی است که آنها را پوشش می‌دهند. یعنی دو موقعیت l_1 و l_2 در خوشه مشابه قرار داده می‌شوند اگر و تنها اگر مجموعه نقاط دستیابی پوشش‌دهنده‌ی این موقعیت‌ها یکسان باشند. به‌هرحال، این دیدگاه برای خوشه‌بندی، زمانی که در یک محیط واقعی مورد استفاده قرار گیرد، دارای مشکلاتی است. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، یک نقطه‌ی دستیابی ممکن است از بعضی نمونه‌ها جا بیافتد و بنابراین استفاده از تمام مجموعه‌ی نقاط دستیابی که یک موقعیت را برای خوشه‌بندی پوشش می دهد، ممکن است نتواند خوشه صحیح را بدلیل از دست دادن نقاط دستیابی، پیدا کند. بنابراین، به جای استفاده از مجموعه نقاط دستیابی که یک موقعیت را پوشش می‌دهد، زیرمجموعه‌ای از این مجموعه که شامل تنها عناصر q است را مورد استفاده قرار می‌دهیم و مشکل تبدیل می‌شود به: با توجه به تعداد q می‌خواهیم تمام موقعیت‌هایی را که با نقاط دستیابی q در یک خوشه مشترک هستند را انتخاب کنیم. در نتیجه، با دو مشکل زیرمواجه می‌شویم: ۱- چگونه مقدار q را تعیین کنیم؟ ۲- کدام نقاط دستیابی q را برای خوشه‌بندی انتخاب کنیم؟(*T. Higuchi, S. Fujii, H. Yamaguchi and T. Higashino*، ۲۰۱۴)

برای رفع مشکل اول، نیاز است q را طوری انتخاب کنیم که تمام موقعیت‌ها (حداقل با q نقطه‌ی دستیابی) در اکثر اوقات، پوشش داده شوند. این فاکتور به علت دلایل مشابهی که در بحث انتخاب مقداری برای پارامتر k مطرح شد، دارای اهمیت است. این مورد پیشنهاد می‌کند که مقدار q باید کمتر یا مساوی با حداقل تعداد نقاط دستیابی پوشش‌دهنده‌ی هر موقعیت در نقشه رادیو باشد. بعلاوه، نیاز به مقداری برای q داریم که موقعیت‌ها را بطور مساوی بین خوشه‌ها به منظور کاهش محاسبات مورد نیاز، توزیع کند (مقادیر نمونه برای q در بخش ۵ ارائه شده است).

برای حل مشکل دوم، از q نقطه‌ی دستیابی با بزرگترین مقادیر شدت سیگنال در هر موقعیت (مجدداً به دلایلی مشابه در بخش قبلی)، استفاده کردیم. در هنگام تحلیل داده‌ها، متوجه می‌شویم که در بعضی از موقعیت‌ها، ترتیب نقاط دستیابی با بزرگترین مقادیر شدت سیگنال، زمانی که مقادیر شدت سیگنال از این نقاط دستیابی نزدیک به یکدیگر باشند، تغییر می‌کند. بنابراین، q نقطه‌ی دستیابی را به‌عنوان یک مجموعه و نه به عنوان سطرهای رابطه‌ای مرتب در نظر گرفتیم. بطور

Archive of SID

www.SID.ir

خلاصه، برای یک موقعیت مشخص l، ما برای تعیین خوشه‌ی که این موقعیت بدان متعلق است، از مجموعه‌ای از q شدت سیگنال قوی که این موقعیت را پوشش می‌دهد، استفاده می‌کنیم. بنابراین، کلید خوشه، مجموعه‌ای از q نقطه‌ی دستیابی بکار رفته برای گروه‌بندی موقعیت‌ها در این خوشه است. لازم به اوضیح است که، مقادیر پارامترهای k (بُعد توزیع مشترک) و q (تعداد نقاط دستیابی برای استفاده از این خوشه‌بندی) مستقل هستند.

۴-۲- فاز *Online*

ایده‌ی کلی اینکه در حین فاز موقعیت‌یابی چه اتفاقی می‌افتد، به شرح زیر است: نمونه‌ها را از بعضی نقاط دستیابی در یک موقعیت ناشناخته می‌گیریم. از q نقطه دستیابی قوی برای تعیین یک خوشه، جهت جستجو در محتمل‌ترین موقعیت، استفاده می‌کنیم. آنگاه قضیه‌ی بیز را برای تخمین احتمال هر موقعیت در خوشه، با توجه به نمونه‌های مشاهده‌شده و نقشه رادیویی ساخته شده در خلال فاز *Offline*، به‌کار می‌بریم. محتمل‌ترین موقعیت، به‌عنوان موقعیت تخمین‌زده‌شده‌ی کاربر گزارش می‌شود. الگوریتم بالا، برای کانال بی‌سیم ایده‌آل مفروض کار می‌کند. به‌هرحال، برای یک محیط عملی، نیاز به پرداختن به دو مشکل است: ۱- تعداد نقاط دستیابی در نمونه‌ای آزمایشی در یک موقعیت، ممکن است کمتر از q، تعداد نقاط دستیابی بکار رفته در خوشه‌بندی، باشد. ۲- تعداد نقاط دستیابی در نمونه‌ای آزمایشی در یک موقعیت، ممکن است کمتر از k، بُعد توزیع مشترک، باشد. (*S. H. Yang, E. M. Jeong and S. K. Han*،۲۰۱۴)

برای حل مشکل اول، ما تمام خوشه‌هایی را که کلید آنها دارای $\{AP_1, AP_2\}$ به عنوان یک زیر مجموعه است، جستجو می‌کنیم. از ترکیب تمام موقعیت‌ها در این خوشه‌ها، به عنوان مجموعه موقعیت‌های هدف استفاده می‌کنیم. مجموعه موقعیت‌های هدف، به موقعیت‌ها در یک خوشه کاهش می‌یابد چنانچه تعداد نقاط دستیابی در یک نمونه آزمایش بزرگتر یا مساوی q باشد. برای مشکل مشابه دوم، ما از دیدگاه مشابهی برای حل آن از طریق کاهش بُعد توزیع مشترک به k (min تعداد نقاط دستیابی در نمونه آزمایش) استفاده می‌کنیم. تنها موردی که برای شرح دادن باقی می‌ماند این است که چگونه از قضیه‌ی بیز برای محاسبه‌ی محتمل‌ترین موقعیت خارج از مجموعه موقعیت‌های هدف با توجه به بردار $\bar{S} = (s_1,...,s_k)$ استفاده کنیم. می خواهیم l را پیدا کنیم بطوریکه $P(l \mid \bar{S})$ حداکثر باشد، به‌عبارت دیگر، می‌توان:

$$\arg\max_l [P(l \mid \bar{S})] \qquad (۳)$$

را با استفاده از قضیه‌ی بیز، به‌صورت:

$$\arg\max_l [P(l \mid \bar{S})] = \arg\max_l \left[\frac{P(\bar{S} \mid l).P(l)}{P(\bar{S})} \right] \qquad (۴)$$

بیان نمود. از آنجایی‌که $P(\bar{S})$ برای تمام l ثابت است، می‌توان معادله ۴ را به صورت زیر نیز ارائه کرد:

$$\arg\max_l [P(l \mid \bar{S}) = \arg\max_l [P(\bar{S} \mid l).P(l)] \qquad (۵)$$

$P(l)$ را می‌توان از نمایه کاربر برمبنای این واقعیت تعیین کرد که اگر کاربر در موقعیتی خاص باشد، خیلی احتمال دارد که او در آینده در موقعیتی نزدیک باشد. چنانچه اطلاعات نمایه کاربر شناخته شده نباشد یا به‌کاربرده نشده باشد، آنگاه می‌توان تصور نمود که تمام موقعیت‌ها بطور مساوی بصورت احتمالی هستند و عبارت $P(l)$ را می‌توان خارج از روند به حداکثر رساندن، تجزیه کرد. معادله ۶ به شرح زیر است:

$$\arg\max_l [P(l \mid \bar{S}) = \arg\max_l [P(\bar{S} \mid l)] \qquad (۶)$$

همانطور که در بخش ۴-۱ شرح داده شد، عبارت باقی‌مانده با استفاده از معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$P(\bar{S} \mid l) = \prod_{i=1}^{k} P(s_i \mid l) \qquad (۷)$$

که در آن، $P(s_i \mid l)$ از توزیع‌های شدت سیگنال ذخیره شده در نقشه‌ی رادیو تخمین زده می‌شود. به جای استفاده از یک نمونه شدت سیگنال از هر نقطه‌ی دستیابی، جهت تخمین موقعیت کاربر، یکی از آنها می‌تواند از توالی n نمونه در یک زمان استفاده کند. با فرض استقلال نمونه‌ها، برای یک موقعیت معین، احتمال یک توالی نمونه با ضرب کردن احتمال هر نمونه بدست می‌آید. استفاده از یک توالی یافته بجای یک نمونه، دارای مزیت‌های زیر می‌باشد:

- از آنجایی‌که ما اطلاعات بیشتری از نمونه‌های بیشتر داریم، دقت باید افزایش پیدا کند (جزئیات در بخش ۵ ذکر شده است).
- این مورد همچنین به خوشه‌بندی کمک می‌کند: همانطور که طول توالی افزایش می‌یابد، احتمالی اینکه یک نقطه‌ی دستیابی جا بیافتد، کاهش می‌یابد. اگر احتمال اینکه یک نمونه را از یک نقطه‌ی دستیابی بگیریم برابر p باشد، آنگاه احتمال اینکه حداقل یک نمونه در یک توالی از n نمونه بگیریم برابر $1-(1-p)^n$ می‌گردد. بعنوان مثال، اگر $p = 0.8$ و $n = 2$ باشد، مقدار احتمال گرفتن یک نمونه، از 0.8 به 0.96 افزایش می‌یابد.

الزامات حافظه‌ی الگوریتم محدود هستند. چنانچه متوسط تعداد نقاط دستیابی در هر موقعیت، ۴ مقدار و متوسط دامنه‌ی هر نقطه‌ی دستیابی، ۱۱ مقدار متمایز باشد، آنگاه برای هر موقعیت ما نیاز به ذخیره‌ی ۴×۱۱ پارامتر داریم که مشابه نمودارهای بافتنگار هر نقطه‌ی دستیابی هستند، که عدد کوچکی است. در عوض می‌توانیم،

Archive of SID

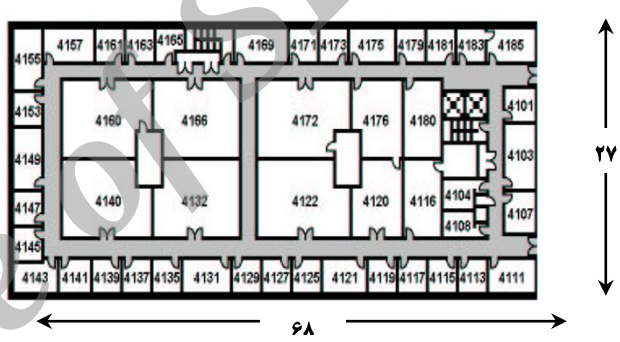
www.SID.ir

نمودار بافتنگار را با یک توزیع پیوسته مانند یک توزیع لُگ نرمال (*Lognormal*)، تقریب بزنیم و تنها میانگین و واریانس توزیع را برای هر نقطه دستیابی ذخیره کنیم. به‌هرحال، این تقریب بر دقت سیستم تأثیر گذاشته و ذخیره‌ی الزامات حافظه آن را توجیه نمی‌کند. تکنیک‌های خوشه‌بندی بکار رفته با تکنیک خوشه‌بندی توأم، فضای جستجو را کاهش می‌دهد و بنابراین منجر به کاهشی در هزینه‌ی محاسباتی می‌شود. بعلاوه، استفاده از خوشه‌بندی در مقیاس‌گذاری سیستم به منطقه‌ی پوشش بزرگتری کمک می‌کند. (*T.-C. Huang, Y.-W. Chou, Y. Shu and T.-C. Yeh*، ۲۰۱۴)

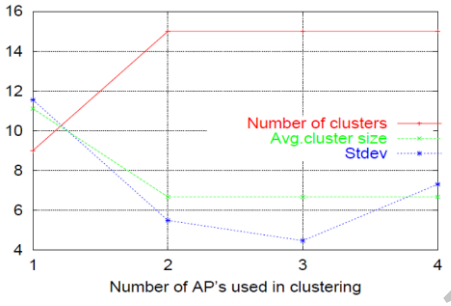
۵- ارزیابی آزمایش

۵-۱ بستر آزمایش

ما آزمایش خود (اجرای تکنیک خوشه‌بندی توأم در شبکه‌ی محلی بی‌سیم) را در یک ساختمان اداری که طرح آن مطابق شکل ۳ بوده و دارای ابعاد ۶۸ متر در ۲۷ متر می‌باشد، به مرحله اجرا در آوردیم. برای ساختن نقشه‌ی رادیو، موقعیت‌های نقشه رادیو را در راهروها در شبکه‌ای با سلول‌هایی که به فاصله‌ی ۱/۵ متر از یکدیگر قرار داشتند (طول راهرو ۱/۵ متر است)، انتخاب کردیم. به‌عبارت دیگر، ۱۱۰ موقعیت در امتداد راهروها درنظر گرفتیم که به‌طور متوسط هر موقعیت، با ۴ نقطه‌ی دستیابی پوشش داده شده است. با استفاده از یک دستگاه راه‌انداز و *API*ای که توسعه دادیم، ۳۰۰ نمونه در هر موقعیت (یک نمونه در هر ثانیه)، جمع‌آوری کرده و آنها را برای تخمین توزیع هر نقطه‌ی دستیابی در هر موقعیت (نقشه رادیو) با استفاده از روشی که قبلاً شرح داده شد، بکار بردیم. برای آزمایش عملکرد سیستم نیز، از یک مجموعه آزمایشات مستقل استفاده کردیم که در روزهای مختلف، زمان‌های مختلف روز و اشخاص مختلف نسبت به مجموعه‌ی آموزشی جمع‌آوری شده‌اند.



شکل ۳- طرح ساختمان مورد بررسی



شکل ۴- تأثیر q بر فرآیند خوشه‌بندی

۴-۲- معیارهای عملکرد

الف- دقت: این معیار بعنوان درصدی از زمان تعریف می‌شود که در این تکنیک، برآورد صحیحی از موقعیت را در یک مسافت خاص ارائه می‌دهد.

ب- تعداد عملیات در هر تخمین موقعیت: این معیار بعنوان تعداد کلی عملیات (افزایش‌ها) برای یک تخمین موقعیت واحد تعریف شده و در کاهش زمان محاسبه و مهمتر از آن، در کاهش مصرف نیرو اهمیت بسزایی دارد. (*Y. Wu and X. Pan*، ۲۰۱۳)

۴-۳- تأثیر پارامترها

تکنیک خوشه‌بندی توأم دارای دو پارامتر کنترل می‌باشد. در این بخش ما تأثیر این پارامترها، مخصوصا پارامتر k (بُعد توزیع مشترک) و q (تعداد نقاط دستیابی جهت استفاده در خوشه‌بندی) بر عملکرد آن، بررسی می‌کنیم. برای نشان دادن تأثیر تغییر q بر فرآیند خوشه‌بندی، مقدار q را از ۱ تا ۴ تغییر داده و تعداد خوشه‌ها، اندازه‌ی متوسط هر خوشه و انحراف استاندارد اندازه‌ی خوشه را محاسبه کردیم. این موارد در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش q، تعداد خوشه‌ها نیز افزایش یافته و اندازهی متوسط هر خوشه کاهش می‌یابد تا زمانی که به یک نقطه‌ی اشباع در $q=۲$ برسیم درصورتی‌که برای انحراف استاندارد، تغییر اندازه‌ی خوشه‌های تا زمانی رسیدن به مقدار حداقلی $q=۳$ ، سیر نزولی داشته و سپس افزایش می‌یابد (مقدار کوچک برای انحراف استاندارد (*Stdev*)، بدان معناست که **اندازه‌های خوشه‌ها یکنواخت‌تر** هستند که یک ویژگی مطلوب می‌باشد).

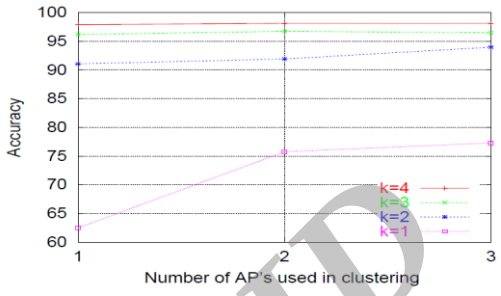
مقدار حداقل در $q=۳$ را می‌توان با توجه به این نکته توضیح داد که همانطور که q از ۱ تا ۳ افزایش می‌یابد، موقعیت‌های بیشتری به دلیل اضافه‌شدن نقاط دستیابی جدید، به خوشه‌های متفاوت تمیز داده می‌شوند. زمانی که افزایش q از عدد ۳ گذشت یعنی $q=۴$ ، موقعیت‌های متفاوت شروع به تسهیم کردن ۴ نقطه‌ی دستیابی مشابه می‌کنند، بخصوص برای موقعیت‌هایی که نزدیک به یکدیگرند (یادآور می‌شویم که متوسط تعداد نقاط دستیابی برای هر موقعیت در این آزمایش، ۴ نقطه بود). بنابراین تعداد موقعیت‌ها در هر خوشه شروع به منحرف شدن از خوشه‌های یکسان می‌کنند که منجر به افزایش انحراف استاندارد می‌شود.

شکل‌های ۵ و ۶، تأثیر پارامترهای q و k را با یکدیگر بر عملکرد نشان می‌دهند. همان‌گونه که در این شکل‌ها مشاهده می‌کنیم، با افزایش بُعد k، دقت هم افزایش می‌یابد، چراکه به‌دلیل افزودن نقاط دستیابی اطلاعات بیشتری داشته و به دلیل مشابه، تعداد عملیات مورد نیاز هر تخمین موقعیت افزایش می‌یابد. همانطور که

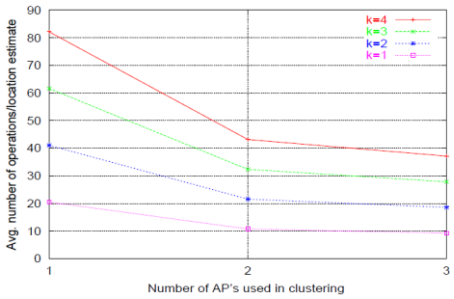
Archive of SID

www.SID.ir

تعداد نقاط دستیابی بکار رفته در خوشه‌بندی (q) افزایش می‌یابد، تعداد عناصر هر خوشه کاهش می‌یابد که منجر به افزایش دقت و تعداد اندک عملیات برای هر تخمین موقعیت می‌شود. در ادامه‌ی این مقاله، برای پارامترهای q و k به‌ترتیب مقادیر ۳ و ۴ را درنظر می‌گیریم. چراکه این مقادیر، منجر به عملکرد بهتری برای الگوریتم خوشه‌بندی مشترک آزمایش می‌شوند.



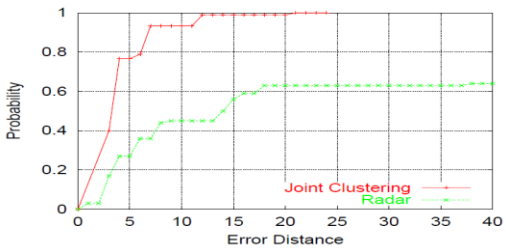
شکل ۵- تأثیر پارامترهای q و k بر دقت (تا ۴/۳ متر)



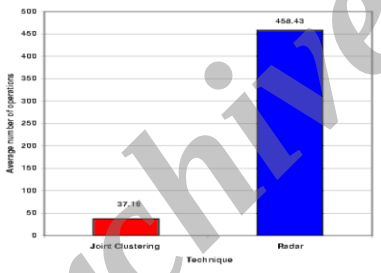
شکل ۶- تأثیر پارامترهای q و k بر تعداد متوسط عملیات/تخمین موقعیت

۵-۴- ارزیابی عملکرد تکنیک خوشه‌بندی توأم

در این بخش، ارزیابی عملکرد تکنیک خوشه‌بندی توأم ارائه کرده و در ادامه عملکرد آن را با سیستم رادار که در بستر آزمایش مشابهی اجرا شد، به عنوان یک نقطه‌ی مرجع، مقایسه می‌کنیم [۲]. شکل ۷، نمودار تابع توزیع تجمعی (*CDF*)[۴] مسافت خطا را برای هر دو تکنیک نشان می‌دهد. تکنیک خوشه‌بندی توأم دقتی بیش از ۹۰ درصد را تا ۲ متر در مقایسه با دقتی ۳۰ درصدی برای دامنه‌ی مسافت مشابه در سیستم رادار ارائه می‌دهد. در شکل ۸، مقایسه‌ای بین هر دو تکنیک در چارچوب تعداد متوسط عملیات در هر نمونه، نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که استفاده از خوشه‌بندی، تعداد متوسط عملیات در هر تخمین موقعیت را (فراسوی یک مقیاس بزرگ)، کاهش می‌دهد.(*W. M. Y. W. Bejuri, M. M. Mohamad, M. Sapri and M. A. Rosly*، ۲۰۱۲)



شکل ۷- *CDF* مسافت خطا برای هر دو تکنیک (*CDF* برای سیستم رادار کوتاه شده در ۱۲متر)



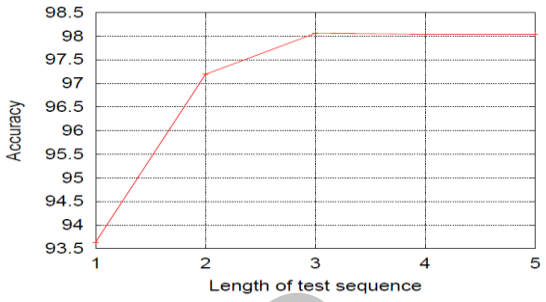
شکل ۸- الزامات مقایسه‌ای برای هر دو تکنیک

۵-۵- تأثر شدید مسافت ترتیب آزمایش

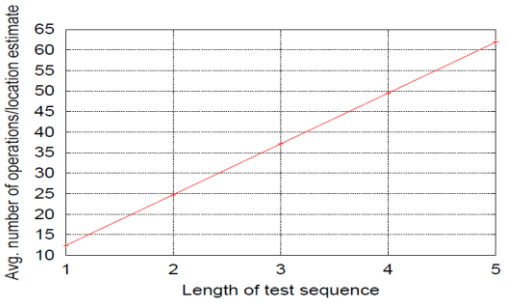
در این بخش، به بررسی تأثیر افزایش مسافت ترتیب آزمایش بکار رفته در فاز موقعیت‌یابی بر عملکرد الگوریتم، می‌پردازیم (شکل‌های ۹ و ۱۰ نتایج را نشان می‌دهند). انتظار می‌رود، همانگونه که مسافت ترتیب آزمایش افزایش می‌یابد، دقت هر دو تکنیک نیز افزایش یابد تا جایی که به یک نقطه‌ی اشباع در سه نمونه برسد. زیرا از آنجایی‌که نمونه‌های بیشتری داریم، اطلاعات بیشتری هم درمورد توزیع شدت سیگنال و دقت بهتر داریم. تعداد عملیات در هر تخمین موقعیت، به طور خطی با افزایش مسافت ترتیب آزمایش برای تکنیک خوشه‌بندی توأم افزایش می‌یابد.

[4] *Cumulative Distribution Function (CDF)*

Archive of SID
www.SID.ir

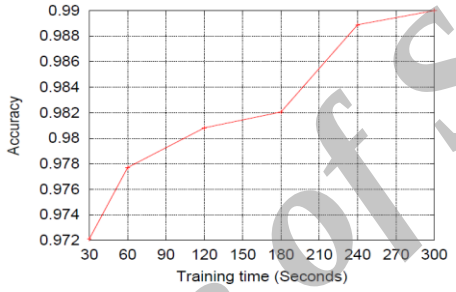


شکل ۹- اثر شدید مسافت ترتیب آزمایش بر دقت (تا ۴/۳ متر)



شکل ۱۰- اثر شدید مسافت ترتیب آزمایش بر الزامات محاسباتی

شکل ۱۱، تأثیر شدید زمان آزمایش بر دقت را تا ۴/۳ متر نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که تکنیک خوشه‌بندی توأم دقت بالای خود را با یک مجموعه داده‌ی آموزشی کوچک (مشابه با کسر یک دقیقه از نمونه‌برداری هر موقعیت) حفظ می‌کند.



شکل ۱۱- اثر شدید زمان آزمایش بر دقت (تا ۴/۳ متر)

۶- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله؛ طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی یک تکنیک موقعیت‌یابی درونی احتمالی جدید بنام تکنیک خوشه‌بندی توأم را که به: ۱- توزیع‌های احتمال برای مدیریت ویژگی‌های پراغتشاش کانال بی‌سیم و ۲- خوشه‌بندی برای مدیریت هزینه‌ی محاسباتی، بستگی دارد؛ ارائه نمودیم. خوشه‌بندی موقعیت‌های نقشه‌ی رادیو را به عنوان دیدگاهی برای کاهش پیچیدگی الگوریتم‌های موقعیت‌یابی معرفی کرده و نشان دادیم که خوشه‌بندی موقعیت‌های نقشه رادیو مشکلی چالش برانگیز با ویژگی پراغتشاش کانال بی‌سیم است. تکنیک خوشه‌بندی، نیروی محاسباتی را فراسوی یک مقیاس بزرگ کاهش می‌دهد. این ذخیره انرژی به سیستم این اجازه را می‌دهد تا در دستگاه‌های سیاری که از لحاظ انرژی محدود هستند پیاده‌سازی شوند و بنابراین مقیاس‌پذیری سیستم را در چارچوب تعداد کاربران پشتیبانی‌شده، افزایش می‌دهد. تکنیک خوشه‌بندی پیشنهادی را می‌توان برای تمام سیستم‌های رایج موقعیت‌یابی شبکه‌های محلی بی‌سیم (*WLAN*) و به منظور کاهش هزینه محاسباتی و افزایش دقت آنها بکار گرفت. نتایج پیاده‌سازی نشان می‌دهد که تکنیک خوشه‌بندی توأم یک دقت بیش از ۹۰ درصدی را تا حدود ۲ متر در پی خواهد داشت. تکنیک ارائه شده در این مقاله را می‌توان برای محیط‌های درونی و بیرونی نظیر تکنولوژی بلوتوث بکار گرفت. نتایج، این اطمینان را می‌دهند که، علی‌رغم ماهیت مخالف کانال بی‌سیم، می‌توانیم موقعیت کاربر را با درجه‌ی بالایی از دقت و هزینه‌ی محاسباتی پایین شناسایی کنیم، از این‌رو مجموعه‌ای از کاربردهای آگاه از زمینه را برای محیط‌های درونی فراهم نماییم.

۷- منابع مورد استفاده

- *A. Bachrach, S. Prentice, R. He and N. Roy, "RANGE–Robust autonomous navigation in GPS-denied environments", J. Field Robot., vol. 28, no. 5, (**2011**), pp. 644-666.*
- *D. Sanchez, J. M. Quinteiro, P. Hernandez-Morera and E. Martel-Jordan, "Using data mining and fingerprinting extension with device orientation information for WLAN efficient indoor location estimation", in 2012 IEEE 8th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), (**2012**), pp. 77-83.*
- *H. Tirri, P. Misikangas, and J. Sievanen. A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation. International Journal of Wireless Information Networks, 9(3), July **2002**.*

Archive of SID
www.SID.ir

- *J. C. Ching, C. Domingo, K. Iglesia, C. Ngo and N. Chua, "Mobile Indoor Positioning Using Wi-fi Localization and Image Processing", Theory and Practice of Computation, S. Nishizaki, M. Numao, J. Caro, and M. T. Suarez, Eds. Springer Japan, (**2013**), pp. 242-256.*
- *P. Bahl and V. N. Padmanabhan. RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System. In IEEE Infocom 2000, volume 2, pages 775–784, March **2000**.*
- *P. Castro, P. Chiu, T. Kremenek, and R. Muntz. A Probabilistic Location Service for Wireless Network Environments. Ubiquitous Computing 2001, September **2001**.*
- *S. H. Yang, E. M. Jeong and S. K. Han, "Indoor positioning based on received optical power difference by angle of arrival", Electron. Lett., vol. 50, no. 1, **(2014)**, pp. 49-51.*
- *S.-H. Fang, C.-H. Wang, S.-M. Chiou and P. Lin, "Calibration-Free Approaches for Robust Wi-Fi Positioning against Device Diversity: A Performance Comparison", Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2012 IEEE 75th, (**2012**), pp. 1-5.*
- *T. Higuchi, S. Fujii, H. Yamaguchi and T. Higashino, "Mobile Node Localization Focusing on Stop-and-Go Behavior of Indoor Pedestrians", **(2014)**.*
- *T.-C. Huang, Y.-W. Chou, Y. Shu and T.-C. Yeh, "Activating Natural Science Learning by Augmented Reality and Indoor Positioning Technology", Advanced Technologies, Embedded and Multimedia for Human-centric Computing, Springer, **(2014)**, pp. 229-238.*
- *W. M. Y. W. Bejuri, M. M. Mohamad, M. Sapri and M. A. Rosly, "Performance Evaluation of Mobile U- Navigation based on GPS/WLAN Hybridization", J. Converg. Inf. Technol., vol. 7, no. 12, (**2012**) October, pp. 235-246.*
- *Y. Wu and X. Pan, "Velocity/Position Integration Formula Part I: Application to In-Flight Coarse Alignment", IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 49, no. 2, (**2013**), pp. 1006-1023.*

Archive of SID

www.SID.ir