Archive of SID

تعیین گونه سفر مبتنی بر پویشگر شبکه وای-فای با استفاده از شبکه فازی-عصبی تطبیقی

حمید رضا افتخاری، استادیار، گروه کامپیوتر، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

E-mail: eftekhari@malayeru.ac.ir

دریافت: ۱۳۰۷/۰۲/۲۸ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۰۱

چکیده

آگاهی از گونه سفر و الگوی حرکت شهروندان همواره مورد توجه مدیران شهری در حوزه مدیریت حمل و نقل و ترافیک بوده است. بهنگام نبودن و هزینه اجرایی روش های سنتی جمع آوری اطلاعات مانند استفاده از پرسشنامه و ظهور فنآوری های جدید موجب شده است تا از ابزارهای ارتباطی همچون تلفن همراه جهت جمع‌آوری و تحلیل داده‌های ترافیکی استفاده شود. در این میان قابلیت های شبکه های وای-فای تلفن همراه همچون عمومیت، قابلیت دسترسی بالا و هزینه پایین، مورد توجه سامانه‌های حمل و نقل هوشمند بوده است.در این پژوهش با استفاده از تعریف سه ویژگی بر روی سیگنال های جمع آوری شده از وای-فای کاربران و بهره‌گیری از مدل شبکه فازی-عصبی تطبیقی، کاربران ناحیه تحت پوشش در سه دسته طبقه بندی می‌گردند. این سه دسته عبارتند از: عابرین پیاده، خودروهای عبوری و کاربرانی که در ناحیه مذکور توقف طولانی مدت داشته اند.. نتایج نشان می‌دهد، مدل پیشنهادی به ازای بکارگیری روش خوشه بندی کاهشی برای تعیین تابع عضویت اولیه ویژگی‌ها توانسته است با دقت ۸۳ درصد کاربران مذکور را طبقه بندی نماید .همچنین میزان صحت و بازخوانی تشخیص خودروهای عبوری در این ناحیه به ترتیب ۷۵ و ۹۰ درصد است.

واژه‌های کلیدی: پویشگروای- فای، شبکه فازی-عصبی، سامانه‌های حمل و نقل هوشمند، گونه سفر

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی و تعیین گونه[1] سفر افراد در برنامه‌ریزی شهری از اهمیت ویژه برخوردار است. تحلیلگران ترافیکی عمدتا تسهیلات حمل ونقلی را بر اساس حجم سفرها به یک منطقه خاص و گونه سفر به آن منطقه تعیین می‌نمایند. از سوی دیگر یکی از چهار رکن پیش بینی وضعیت ترافیکی تعیین گونه سفر پس از تعیین ماتریس مبدا- مقصد است. یکی از عوامل موثر در گونه سفر قصد سفر است، در مناطقی که قصد سفر، خرید و بازارگردی است عمدتا کاربران در منطقه تجاری مدت زمان محدودی پیاده روی می‌نمایند. در حالی‌که در مکان‌هایی که قصد سفر، کاری یا تحصیلی باشد، از خودرو، اعم از شخصی یا عمومی استفاده می‌شود و در طول مدت اقامت عمدتا مدت زمان زیادی در یک مکان مشخص حضور دارند. از این رو تعیین گونه سفر به نوعی می تواند تعیین کننده قصد سفر نیز باشد.

در روش های سنتی جمع‌آوری اطلاعات گونه سفر، از روش میدانی پرسشنامه استفاده می‌گردد. هزینه‌های بالای این روش موجب شده است تا جمع‌آوری و ارزیابی این اطلاعات در بازه‌های طولانی مدت و چندسال یک بار انجام پذیرد. همین مساله عدم شناسایی نیازهای روز و بهنگام سازی آنها را به همراه دارد.

امروزه با توجه به گسترش ابزارهای فنآوری اطلاعات، بهره‌گیری از این ابزارها در حوزه حمل و نقل رو به گسترش است و زمینه ظهور سامانه های حمل و نقل هوشمند را فراهم ساخته است[Engelbrecht et al. 2015]. در این میان یکی از کاربردهای فنآوری‌های نوظهور همچون تلفن‌های همراه هوشمند و شبکه‌های ارتباطی مانند بلوتوث[2]، وای-فای[3] و شبکه سلولی شناسایی رفتارهای ترافیکی و حرکت های افراد در بستر زمان-مکان است [Abedi, Bhaskar and Chung, 2014]. به عنوان مثال اقبال [Iqbal et al.2014] با استفاده از شبکه سلولی تلفن همراه وضعیت ماتریس مبدا و مقصد کاربران اپراتور را بدست آورده است. عراقی [Araghi et al. 2015] و همکاران با بهره‌گیری از بلوتوث توانسته‌اند حجم ترافیک یک منطقه را محاسبه نمایند. مشابه این کار و با استفاده از ترکیب این اطلاعات با اطلاعات حلقه‌های مغناطیسی زمان سفر در یک معبر توسط بهسکار و همکاران محاسبه گردیده است [Bhaskar, Tsubota and Chung, 2014].

هدف از این پژوهش بهره‌گیری از شبکه وای-فای تلفن همراه افراد به منظور شناسایی گونه سفر پیاده و سواره در یک منقطه خاص است. به بیان ساده‌تر با پایش و جمع‌آوری داده‌های وای-فای، افراد حاضر در یک ناحیه تحت پوشش به سه دسته تقسیم می‌گردند:

۱. عابرین سواره که از خودرو برای عبور از ناحیه مدنظر استفاده نموده اند و توقفی در آن ناحیه ندارند.
۲. عابرین پیاده که در ناحیه مدنظر به صورت پیاده تردد می‌نمایند و مدت زمان محدودی را در آن منطقه می‌گذرانند. این افراد یا گونه سفر پیاده را برای رسیدن به مقصد انتخاب کرده‌اند و این ناحیه در بخشی از مسیر رسیدن آنها به مقصد قرار دارد و یا ناحیه مذکور بخشی از مقصد آنها بوده است، به عنوان مثال قصد خرید در آن منطقه را داشته و مدت محدودی در آنجا بوده‌اند.
۳. افراد ساکن در ناحیه که در یک بازه زمانی طولانی در آن ناحیه حضور دارند. محل زندگی، محل کار یا تحصیل این افراد ممکن است در ناحیه مذکور باشد.

ویژگی مهمی که شبکه وای-فای نسبت به دیگر روش‌های جمع‌آوری اطلاعات مبتنی بر فنآوری‌های ارتباطی و نوظهور دارد، عمومیت، حفظ حریم خصوصی، هزینه پایین و سادگی پیاده سازی و دسترسی به اطلاعات آن است. عمومیت استفاده از آن به حدی است که طبق آمار شرکت سیسکو ۵۳ درصد استفاده کنندگان از اینترنت از بستر وای-فای جهت ارتباط استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. مزایا و معایب فناوری‌های نوظهور در تعیین گونه سفر

فناوری	مزایا	معایب	ویژگی در حوزه جمع‌آوری داده
شبکه سلولی (GSM)	گستردگی و عمومیت بالا	عدم دسترسی و نقض حریم خصوصی	با توجه به گستردگی منطقه تحت پوشش هر BTS امکان تشخیص گونه سفر بسیار مشکل است
بلوتوث	هزینه پایین ، سادگی پیاده سازی	عدم عمومیت (نفوذ پایین بلوتوث های روشن)	استفاده به منظور محاسبه زمان سفر در یک لینک
موقعیت یاب جهانی	دقت بالا	نقض حریم خصوصی، عدم عمومیت، مصرف انرژی	قابلیت تشخیص گونه سفر مشروط بر ارسال اطلاعات کاربران به یک مرکز پردازشی
وای-فای	عمومیت نسبی، هزینه پایین، سادگی پیاده سازی	سیگنال ضعیف تر نسبت به بلوتوث، مصرف انرژی، اثرات احتمالی زیست محیطی	استفاده به منظور محاسبه زمان سفر و گونه سفر ، پوشش منطقه ای به شعاع ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر مربع

می‌کنند. بدیهی است که برخط بودن جمع‌آوری اطلاعات در این روش (و روش‌های دیگر مبتنی بر فنآوری‌های ارتباطی) مزیت بسیار مهم آنها نسبت به روش میدانی پرسشنامه است. از نقاط ضعف استفاده از وای-فای می‌توان به روشن نبودن وای-فای تلفن همراه تمامی کاربران به منظور جمع‌آوری داده‌ها اشاره نمود. هرچند تحقیقات نشان داده است وای فای تلفن همراه حدود ۲۰ درصد افراد، روشن است [Musa and Eriksson, 2012]. و همین مساله موجب شده است تا میکسان و همکاران[Mikkelsen et al.2016] و هانته و همکاران [Handte et al.2014] بتوانند بوسیله وای فای های روشن برخی کاربران با دقت بالای جمعیت موجود در یک وسیله حمل و نقل عمومی مانند اتوبوس را تخمین بزنند. از دیگر معایب بهره‌گیری از وای-فای مصرف بالای باتری تلفن همراه در زمان فعال بودن آن است. همچنین پویشگرهای وای-فای که در نقش نقطه دسترسی عمل می‌کنند، باتوجه به قدرت سیگنال دهی و امواج آنها اثرات منفی محدودی را بر محیط زیست دارند. جدول شماره ۱ مقایسه‌ای بین این روش به روش‌های مشابه ارائه داده است. همچنین در جدول توانایی دیگر روش‌ها در جمع‌آوری و تحلیل رفتار رانندگی نیز اشاره شده است.

بدلیل هزینه کم بهره‌گیری از وای-فای و بلوتوث در شناسایی چگالی جمعیت پیاده و سواره از این دو فنآوری به طور گسترده‌ای در حوزه سامانه های حمل و نقل هوشمند استفاده می شود. کورچو [Kurkcu and Ozbay, 2017] چگالی جمعیت پیاده را در یک منطقه بر اساس ترکیب داده‌های بلوتوث و وای فای بدست آورده است. دانالت و همکاران [Danalet, Farooq and Bierlaire, 2014] با بکارگیری از شبکه های بیزین بر روی تحلیل داده‌های بدست آمده از وای-فای های داخل پردیس دانشگاه قصد سفر یا به بیان ساده تر توالی مقصدهای افراد را در مجموعه دانشگاه بدست آورده است. بلینی و همکاران [Bellini et al. 2017] نیز در سال ۲۰۱۷ رفتار کاربران در شهر هوشمند را با استفاده از وای-فای هایی که در سطح شهر به طور گسترده نصب شده است با دقت خوب تحلیل نموده است. این رفتار شامل مکانهای پرطرفدار، مسیر حرکت و جریان های ترافیکی است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد از این داده‌ها برای پیش‌بینی

www.SID.ir

Archive of SID

ترافیکی نیز می‌توان استفاده نمود. در خصوص تشخیص جریان حرکت عابر پیاده نیز کاری مشابه توسط فوکوزاکی و همکاران [Fukuzaki et al. 2014] انجام شده است. یاچوآن دو و همکاران [Du et al. 2017] نیز تقریب تعداد افراد موجود در منطقه تحت پوشش پویشگر وای-فای را با دقت خوبی بدست آورده است. هر چند داده کاوی اطلاعات بدست آمده از وای-فای به منظور تشخیص ماتریس مبدا-مقصد و چگالی به طور گسترده در پژوهش های پیشین مورد استفاده قرار گرفته است، اما تعیین گونه سفر و تفکیک کاربر پیاده از سواره و کاربر ساکن در یک منطقه مبتنی بر پویشگر وای-فای کماکان به صورت یک گپ مطرح است و این سوال مطرح است که آیا پویشگر وای-فای می‌تواند بین رفتار خودرو و عابرپیاده تفکیک قائل شود؟

مون [Mun et al. 2007] با ترکیب داده‌های بدست آمده از وای-فای و شبکه جی.اس.ام توانسته است بین سه دسته کاربر عابر پیاده ، خودرو و کاربر ساکن در منطقه با دقت ۸۸ درصد تفکیک قائل شود. اما نکته مهم این است که بهره‌گیری از شبکه اپراتور نیازمند دسترسی به داده‌های کاربران است که عمدتا نقض حریم خصوصی است و سازمانهای سیاست‌گذار و امنیتی اجازه بهره‌گیری از این داده‌ها به راحتی فراهم نمی‌کنند. از سوی دیگر صحت و بازخوانی شناسایی عابرین پیاده در مدل ارائه شده پایین است.

ویند و همکاران [Wind et al.2016] در ۲۰۱۶ با استفاده از تحلیل سیگنال‌های وای-فای کاربران ساکن در یک ناحیه یا بیان ساده‌تر مکان‌های توقف افراد را با دقت بسیار خوب تشخیص داده‌اند. اما این تحقیق در خصوص تفکیک عابران و گونه سفر پیاده و سواره آنها تحلیلی ارائه نمی‌کند.

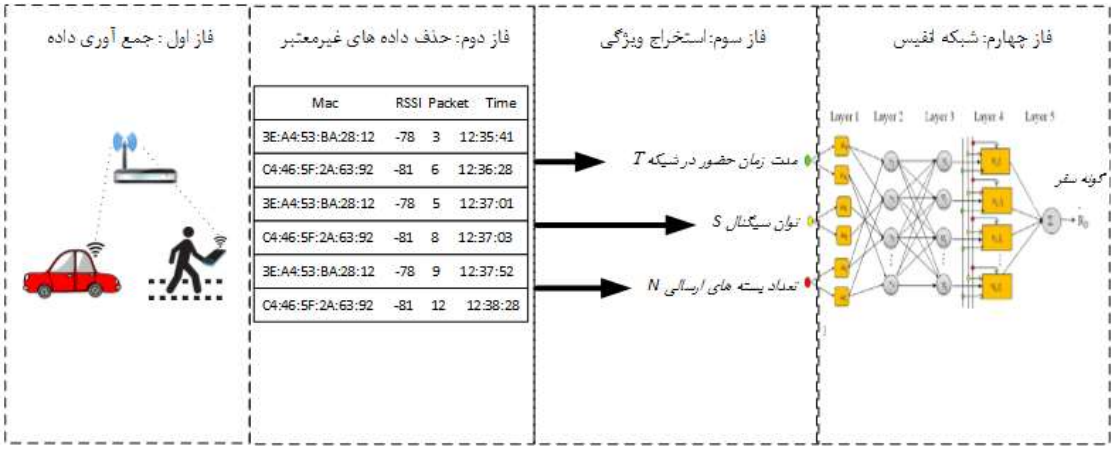
جدول شماره ۲ مقایسه کارهای گذشته و نقاط ضعف و قوت هر کدام را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می شود تحقیقات انجام شده یا نتوانسته اند بین گونه سفر افراد تفکیک قائل شوند و یا از ابزارهای دیگر همچون شبکه های جی. اس. ام استفاده نموده اند که دسترسی به آنها به دلیل قوانین نقض حریم خصوصی نیازمند کسب مجوزها قانونی خاصی است و عملیاتی نمودن این روش ها را با چالش روبرو کرده است.

جدول ۲. پژوهش های انجام شده

پژوهش	مزایا	معایب	ابزار مورد استفاده
ویند و همکاران ۲۰۱۶	دقت بالا در تفکیک عابرین پیاده با ساکنین	عدم تفکیک گونه سفر عابرین	داده های وای-فای
مون و همکاران ۲۰۰۷	دقت خوب	عدم دسترسی به داده های جی اس ام بدون داشتن مجوزهای لازم	داده های وای-فای و شبکه جی اس ام
یا چو آن دو و همکاران ۲۰۱۷	تخمین مناسب از تعداد افراد در یک منطقه	عدم تفکیک عابرین از افراد ساکن و گونه سفر عابرین	داده های وای-فای
بلینی و همکاران ۲۰۱۷	تشخیص جریان ترافیکی مسیرها	عدم تفکیک بین گونه سفر عابرین	داده های وای-فای
کورچو و همکاران ۲۰۱۷	تخمین چگالی جمعیت	عدم تفکیک عابرین از افراد ساکن و گونه سفر عابرین	داده های وای-فای و بلوتوث

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. معماری سامانه پیشنهادی

آنچه در این پژوهش ارائه شده است، ارائه مدلی صرفا مبتنی بر پویشگر سیگنال های وای-فای است که با استفاده از تعریف سه ویژگی از روی سیگنال‌های دریافتی و یک شبکه فازی-عصبی میتواند سه دسته کاربر (عابرپیاده، خودروی عبوری و کاربر ساکن) را طبقه بندی نماید. در ادامه معماری این مدل ارائه می‌گردد.

۲. معماری سامانه

معماری سامانه شامل ٤ فاز است که در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. که هرکدام به تفصیل بیان می گردد.

۲-۱ پویش کاربران:

در استاندارد ۸۰۲/۱۱ که استاندارد شبکه‌های وای-فای است، یک کلاینت از طریق کارت شبکه خود برای پیوستن به شبکه و اتصال به یک نقطه دسترسی[٤] عملیات زیر را دنبال می‌کند:

۱. مشتری (کاربر) در ابتدا فریم مدیریتی درخواست ردیاب را منتشر می‌کند. این پیام که با عنوان درخواست کاوش[٥] نامیده می‌شود، شامل مشخصات کلاینت از جمله مک آدرس[٦] آن است. این پیام در اطراف کلاینت توسط تمامی نقاط دسترسی قابل دریافت است.

۲. تمام نقطه دسترسیهایی که چنین فریمی را می‌شنوند با فریم واکنش ردیاب پاسخ می‌دهند. (به این ترتیب هویت آنها برای ایستگاه روشن خواهد شد.) از این‌رو مشخصات نقاط دسترسی مجاور مشتری از جمله مک آدرس آنها نیز قابل دریافت است.

۳. ایستگاه از بین نقطه دسترسی‌هایی که پاسخ داده‌اند یکی را برمی‌گزیند و برای آن فریم درخواست وابسته‌سازی می‌فرستد. (ملاک انتخاب می‌تواند مقایسهٔ توان سیگنال دریافتی از نقطه دسترسی باشد)

٤. نقطه دسترسی با فرستادن فریم واکنش وابسته‌سازی پاسخ مساعد می‌دهد.

در صورتی که یک پویشگر وای-فای وجود داشته باشد، با توجه به فرآیند مراحل ۱ و۲ می تواند مک آدرس کارت شبکه کلاینت ها و نقاط دسترسی را رصد کند و لیستی از کلاینت های ناحیه تحت پوشش خود در هر مقطع زمانی بدست آورد. ناحیه تحت پوشش بسته به نوع تجهیزات، توان سیگنال‌دهی و آنتن‌دهی ممکن است محدوده ای به شعاع ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر را در فضای آزاد پشتیبانی نماید. در فضای بسته این مقدار با توجه به وجود موانع کاهش می‌یابد. یک پویشگر وای-فای در اصل یک کارت

www.SID.ir

Archive of SID

شبکه مرتبط با یک نرم‌افزار پویشگر است که بر روی سیستم عامل کامپیوتر نصب می‌گردد. به بیان ساده تر آنچه یک پویشگر وای-فای را با یک کارت شبکه معمولی متفاوت ساخته است، نرم‌افزاری است که قابلیت کشف، ضبط و تحلیل ترافیک و بسته های ارسالی بی‌سیم را در بستر استاندارد ۸۰۲/۱۱ داشته باشد. اطلاعات بدست آمده از این فاز ورودی‌های فاز استخراج ویژگی است.

۲-۲ حذف داده‌های نامعتبر

از مجموعه اطلاعات ضبط شده، داده‌هایی که تعداد بسته‌های ارسالی آنها برابر با یک بود حذف شدند، بدلیل اینکه در تمام موارد اختلاف بین اولین و آخرین زمان مشاهده شدنشان صفر است. این داده‌ها، توضیحی در خصوص زمان حضور تلفن همراه در محدوده نمی‌دهند و امکان استخراج گونه سفر آنها وجود نخواهد داشت. همچنین رکوردهای مرتبط با نقاط دسترسی که عمدتا نصب شده در منازل و مغازه‌های مجاور هستند نیز حذف گردید، هرچند ممکن است تعداد کمی از عابرین پیاده یا سرنشینان خودروها هات اسپات[۷] کارت شبکه شان را فعال کرده باشند، اما احتمال آن بسیار کم است و تنها خطای محاسبات را بالا می‌برد ، بنابراین این دسته‌از رکوردها نیز حذف می‌شوند. از این‌رو گام های زیر جهت حذف داده های نامعتبر و نویز انجام گرفته است:

۱- گام نخست: حذف مک آدرس هایی که صرفا یک بار مشاهده شده اند.

۲- گام دوم: حذف مک آدرسهایی که نقش نقطه اتصال را به عهده دارند که دارای برچسب BSSID هستند.

۳- گام سوم: استخراج ویژگیهای مورد نیاز از رکوردهای باقیمانده

۲-۳ استخراج ویژگی

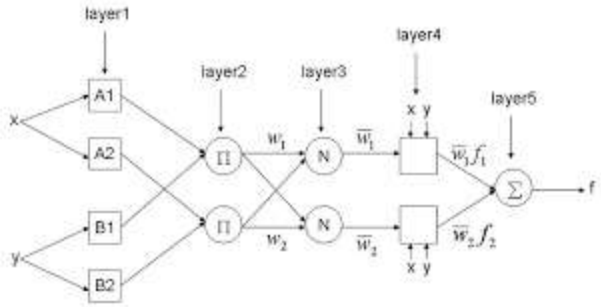
به منظور تفکیک عابرپیاده، خودرو و ساکن از سه ویژگی استفاده شده است. این سه ویژگی عبارتند از مدت زمان حضور در شبکه، توان سیگنال و تعداد بسته‌های ارسالی که در ادامه هر کدام توضیح داده خواهد شد .

۱. *مدت زمان حضور در شبکه (T)*: هر پویشگر می‌تواند محدوده خاصی از اطراف خود را پویش نماید. این حیطه بسته به توان تجهیزات پویشگر (کارت شبکه و آنتن آن) می‌تواند حدود ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر باشد. هر چند در فضای بسته این محدوده با توجه به وجود موانع کاهش می‌یابد. زمان اولین مشاهده زمانی است که مک آدرس یک مشتری در لحظه اول وارد محدوده پویشگر می‌شود و توسط آن مشاهده می‌شود(t_1). زمان آخرین مشاهده، آخرین زمانی است که مشتری در محدوده پویشگر قرار گرفته است و پس از آن رکوردی به ازای آن مک آدرس در سیستم ثبت نشده است(t_2). اختلاف زمان اولین مشاهده و آخرین مشاهده به عنوان ویژگی مدت زمان حضور در نظر گرفته می‌شود ($T = t_2 - t_1$).

۲. *توان سیگنال(S)*: میزان آنتن‌دهی و قدرت برقرار ارتباط بین پویشگر و کارت شبکه کلاینت در مقدار توان سیگنال آن مشخص می‌شود. این مقدار به ازای سخت افزارهای مختلف پویشگر ممکن است متفاوت باشد اما به ازای یک پویشگر خاص در یک شرایط زمانی و مکانی می‌تواند معرف فاصله بین کلاینت با پویشگر باشد. مقدار سیگنال دهی آنتن وای-فای بر اساس واحد RSSI بیان می شود با توجه به پایین بودن توان سیگنال این مقدار به صورت مقدار منفی بیان می شود (مثلا dbm100-) هر چه تلفن همراه به نقطه اتصال نزدیک تر باشد، این مقدار به صفر نزدیک خواهد بود. از اینرو هر چه قدر مطلق مقدار توان سیگنال بیشتر باشد، معرف فاصله بیشتر تلفن همراه از نقطه اتصال است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. ساختار ۵ لایه شبکه فازی-عصبی تطبیقی

۳. *تعداد بسته‌های ارسالی(N):* هر کلاینت (مشتری) برای ارتباط با نقاط اتصال اطراف خود به صورت مرتبط و در بازه‌های زمانی مختلف بسته‌هایی را ارسال می‌نماید. در صورتی که در اتصال به یک نقطه دسترسی موفق باشد و اطلاعاتی بین کلاینت و شبکه رد و بدل شود این تعداد بسته‌های ارسالی به شدت افزایش می‌یابد و در صورتی که ارتباطی برقرار نشود، بسته به زمان حضور کلاینت در محدوده پویشگر است ممکن است تعدادی بسته ارسال گردد.

پس از حذف رکوردهای نامعتبر و استخراج ویژگی به ازای هر مک آدرس، داده‌ها در فاز چهارم و شبکه فازی-عصبی وارد می شوند.

۲-٤ شبکه فازی عصبی تطبیقی

قابلیت تقریب‌گری عمومی و توانایی طبقه‌بندی در شبکه‌های عصبی و همچنین توانایی بیان کیفی عدم قطعیت‌ها در تئوری فازی، مزیت منحصر بفردی را برای شبکه‌های فازی-عصبی تطبیقی به همراه داشته است. در سامانه‌های کنترل فازی، قواعد اگر-آنگاه فازی توسط خبره تعیین می‌گردد، اما در برخی موارد به دلیل عدم وجود تجربه انسانی و نا شناخته بودن پدیده و همچنین پیچیده بودن روابط بین ویژگی‌ها، از روش‌های یادگیری ماشین استفاده می‌گردد. در شبکه فازی-عصبی تطبیقی[۸] قواعد فازی بر اساس آموزش شبکه و به صورت منبعث از داده‌های آموزشی تعیین می‌گردد. ساختار شبکه فازی-عصبی با پنج لایه در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

لایه اول: دارای گره‌های قابل تنظیم است و تابع تعلق آنها عمدتا گوسی یا زنگوله‌ای است. رابطه زیر خروجی این لایه را به ازای استفاده از تابع تعلق گوسی نشان می‌دهد. پارامترهای a,b پارامترهای توابع تعلق در بخش مقدمه قوانین فازی هستند. انتخاب تعداد قواعد و بیان ساده‌تر گره‌های این لایه از اهمیت زیادی برخوردار است. (رابطه ۱)

$$O_{1,i} = \mu_{Ai}(x) = \exp(-\left(\frac{x - b_i}{2a_i}\right)^2) \qquad (۱)$$

انتخاب قواعد زیاد موجب پیچیده‌تر شدن مدل و کاهش قابلیت تعمیم آن می‌شود و از سوی دیگر کاهش قواعد نیز موجب کاهش توانایی و دقت مدل گردد. روش‌های مختلفی به منظور تعیین تعداد این قواعد مطرح است که عمده آنها مبتنی بر خوشه بندی داده‌های آموزشی است. در حقیقت به ازای هر خوشه یک مجموعه فازی تعریف می‌گردد. تعداد گره‌های موجود در این لایه که متناسب با تعداد خوشه‌های تشکیل شده است، به نوعی معرف تعداد قواعد موتور استنتاج نیز هست و یک رابطه متناظر بین قواعد فازی که در لایه سوم تعریف می‌گردند، و خوشه‌های این لایه وجود دارد.

به منظور خوشه‌بندی داده‌ها نیز از روش‌های مختلف خوشه‌بندی مانند تفکیک شبکه و خوشه‌بندی کاهشی استفاده شده است. در روش تفکیک شبکه ای تعداد مجموعه های فازی بایستی برای این

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مشخصات سخت افزارها و نرم افزارهای جمع‌آوری و تحلیل داده

سخت افزار	مشخصات	نرم افزار	مشخصات
کارت شبکه	Tplink TL-WN7200ND	سیستم عامل	Ubantu
آنتن	15 dbi	جمع‌آوری	Aircrack v1.1
کامپیوتر	Labtop HP 620 top	تحلیل	MATLAB 2016

لایه تعیین شود. اما در روش خوشه بندی کاهشی، ابتدا خوشه بندی بر روی داده ها و براساس نحوه توزیع آنها انجام می شود. این خوشه بندی به صورت فازی است و پارامترهای آن میزان همپوشانی خوشه های را مشخص می کند. مقدار این پارامترها بایستی به شبکه بیان شود. براساس این پارامترها و نحوه توزیع داده ها، تعداد و مرکز خوشه ها و در نهایت مشخصات مجموعه های فازی تعیین می گردند. توضیحات بیشتر در پژوهش [Moertini, 2002] ارائه شده است.

لایه دوم: این لایه شامل گره‌هایی است که قواعد استنتاج را ایجاد می‌نمایند. در این لایه مقادیر تعلق ورودی‌ها به هر یک از توابع عضویت در یکدیگر ضرب می‌گردد و به ازای هر گره رابطه ۲ را خواهیم داشت:

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{Ai}(x) \times \mu_{Bi}(x) \qquad i = 1,2 \quad (۲)$$

به بیان شبکه عصبی، خروجی هر گره در این لایه معرف شدت برانگیختگی یک قاعده است. ضرب توابع عضویت معرف عملگر "و" در منطق فازی است که شکل دیگری از پیاده‌سازی شرط در منطق فازی است و همانگونه که اشاره شد تعداد گره‌ها در این لایه معرف تعداد قواعد شرطی موتور استنتاج هستند.

لایه سوم: در این لایه نیز تعداد گره‌ها برابر با تعداد قواعد است. هر گره در این لایه معرف میزان برانگیختگی یک قاعده نسبت به برانگیختگی تمامی قواعد است. به بیان ساده‌تر رابطه زیر معرف مقدار محاسبه شده در هر گره از این لایه است. در حقیقت مقادیر wها در این لایه نرمال می‌شوند. (رابطه ۳)

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_i w_i} \quad (۳)$$

لایه چهارم: مقادیر نرمال شده w ها که از لایه چهارم بدست آمده است در پارامترهای استنتاجی ضرب می‌گردد و رابطه زیر برای هر گره در این لایه محاسبه می‌گردد.p و q معرف پارامترهای نتیجه است. (رابطه ٤)

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(p_i x + q_i x + r_i) \quad (٤)$$

لایه پنجم: این لایه شامل گره (های) نهایی است که خروجی مدل را نشان می‌دهد. خروجی مدل بر اساس تجمیع مقادیر هر یکی از گره های لایه پنجم بدست می‌آید که در رابطه شماره (۵)نشان داده شده است.

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (۵)$$

برای مدل پیشنهادی شبکه عصبی-فازی با مشخصات زیر مورد استفاده قرار گرفته است: در لایه نخست از تکنیک خوشه بندی کاهشی و تفکیک شبکه استفاده شده است. همچنین تابع تعلق این لایه نیز تابع گوسی است که در رابطه (۱) نشان داده شده است. تعداد توابع فازی نیز برای مدل پیشنهادی ٤ تابع عضویت به ازای هر ویژگی در روش تفکیک شبکه بوده است. همچنین در روش خوشه بندی شبکه از نرخ ۰/۵ برای پذیرش[۱۳] و نرخ ۰/۱۵ برای رد[۱٤] استفاده شده است. خروجی شبکه فازی عصبی با مشخصات فوق می تواند گونه سفر کلاینت‌های مشاهده شده در شبکه را نشان دهد. به بیان ساده تر کلاینت های شبکه به سه دسته تقسیم می‌گردند:

- دسته نخست: کلاینت‌هایی که درخودروهای عبوری قرار دارند. شناسایی و تفکیک این دسته از افراد امکان تحلیل‌های بعدی ترافیکی مانند حجم ترافیک و زمان سفر یک معبر را فراهم می‌نماید.

www.SID.ir

Archive of SID

- دسته دوم: کلاینت‌هایی که معرف عابران پیاده هستند. شناسایی این دســـته از کلاینت ها در تحلیل‌های زمانی-مکانی حرکت جمعیتی ضروری است.
- دسته سوم: کلاینت های ساکن هستند که معرف افرادی هستند که در ناحیه پوشش پویشگر به طور مستمر حضور دارند.

در ادامه نحوه نتایج اجرای معماری پیشنهادی بیان می‌گردد.

۳. ارزیابی نتایج

۳-۱ جمع‌آوری داده‌ها

به منظور جمع‌آوری داده‌ها از سخت‌افزار و نرم‌افزار بیان شده در جدول شماره ۳ استفاده شده است. داده‌ها طی دو روز از دو منطقه مختلف در شـهر همدان جمع‌آوری شـده است. منطقه نخست در بازار همدان و منطقه دوم در اطراف جاده کمربندی همدان است. فرمت داده‌های جمع‌آوری شده در شکل شماره ۳ نشان داده شده اســـت. پس از جمع‌آوری اطلاعات بایســـتی داده‌های نامعتبر و نـامرتبط حـذف گردنـد. جدول شـــماره ٤ نمونه‌ای از اطلاعات اسـتخراج شـده را نشـان میدهد. هر رکورد در این جدول معرف یک کلاینت اســـت که ویژگی‌های فوق برای آن محاســـبه شـــده اسـت.خودروهای عبوری عمدتا زمان حضـورشـان در شـبکه کم اســت و دارای ســطح ســیگنال پایین‌تری نســبت به عابرین پیاده هستند، همچنین سطح سیگنال آنها معمولا تغییر نمی کند و تعداد بسته های ارسال آنها نیز کم است.

جدول ٤. نمونه ای از ورودی‌های شبکه فازی-عصبی(ویژگی های بدست آمده از هر کلاینت)

کلاینت	تعداد بسته-های ارسالی	توان سیگنال (dbi)	مدت زمان حضور در شبکه (s)
کلاینت۱	۳	-۷٤	۱۵
کلاینت ۲	۲۳	-٥٦	۱۱٥
کلاینت ۳	٤٦٨	-۸۰	٦۳٥

در حالی‌که که عابرین پیاده زمان حضـورشـان در شـبکه متوسـط اسـت و با وجود اینکه سـطح سیگنال آنها پایین است اما تغییرات آن زیاد است . تعداد بسته های ارسالی نیز در این دسته از کلاینت ها متوسط است. در نهایت کلاینت های ساکن، مدت زمان حضور طولانی در شبکه دارند و همچنین تعداد بسته‌های ارسالی آنها زیاد در حال افزایش است، سطح سیگنال آنها متوسط و دارای تغییرات کم اسـت . شـکل شماره ٤ میانگین و اختلاف معیار این سه دسته کلاینـت را نشـــان می‌دهـد. بـه منظور تحلیل داده‌ها تعداد ۱۱۰ رکورد پس از حذف داده‌های نامعتبر و محاســبه ویژگی‌های ســه گانه به ازای هر کلاینت حاصل گردید. تعداد ٤۰ رکورد متعلق به عابرین پیاده (۳٦ درصـد)، ٤۰رکورد متعلق به کلاینت های ساکن (۳٦ درصـــد) و ۳۰ رکورد معـادل ۲۷ درصـــد داده‌هـا متعلق به خودروهای عبوری است.

شکل ۱. داده‌های جمع‌آوری شده توسط نرم‌افزار

```
CH  8 ][ Elapsed: 2 mins ][ 2017-09-14 00:15

BSSID              PWR  Beacons    #Data, #/s  CH  MB   ENC  CIPHER AUTH ESSID

30:B5:C2:B2:39:8C  -80        6        0    0   1  54e  WPA2 CCMP   PSK  kimiya
00:13:33:AD:BD:3D  -77       13        0    0   6  54   WPA2 TKIP   PSK  AD544
A4:2B:B0:E6:AA:40  -77       14        0    0   1  54e  WPA2 CCMP   PSK  TP-LINK_E6AA40

BSSID              STATION            PWR   Rate    Lost    Frames  Probe

(not associated)   D0:13:FD:55:62:93  -79    0 - 1      0         4
```


www.SID.ir

Archive of SID

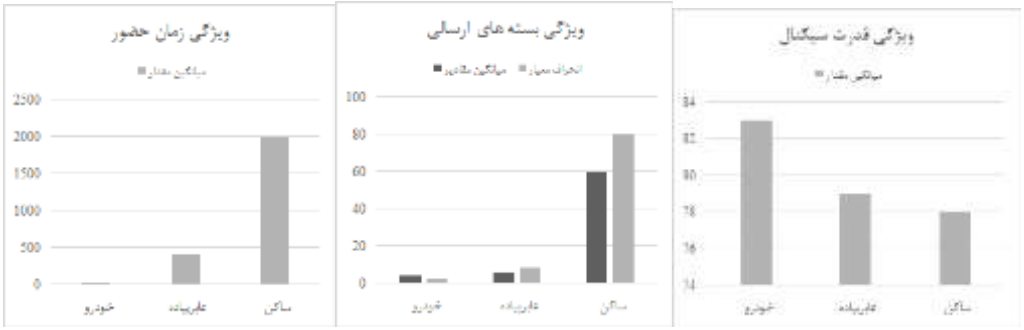
۳-۲ تحلیل داده‌ها

به منظور پیاده‌سازی مدل ارائه شده و بهره‌گیری از شبکه فازی-عصبی از نرم‌افزار متلب ویرایش ۲۰۱۶ استفاده گردید. به منظور بررسی قابلیت تعمیم مدل، از روش اعتبارسنجی ضربدری[19] با تعداد ۵ تا[20] استفاده شده است و ساخت مجموعه‌های فازی اولیه بر اساس دو روش تفکیک شبکه[9] و خوشه بندی کاهشی[10] انجام گردید. نتایج به سه کلاس ۱ معرف خودروی عبوری، ۲ معرف عابر پیاده و ۳ معرف کلاینت ساکن تقسیم گردید.

نتایج روش تفکیک شبکه : شکل شماره ۵-الف نتایج بدست آمده از شبکه فازی-عصبی را به ازای بکارگیری روش تفکیک شبکه در فاز ساخت مجموعه های فازی اولیه نشان می‌دهد . نقاط آبی رنگ مقدار هدف[11] و نقاط قرمز رنگ مقدار خروجی مدل را نشان می‌دهد. محور افقی رکوردها و محور عمودی کلاس هر کدام را نشان می‌دهد. مقادیر پس از گرد کردن طبقه تعلق رکورد را نشان می‌دهند. نتایج پس از گرد کردن به صورت شکل شماره ۵-ب است. ماتریس درهم‌ریختگی[12] در جدول شماره ۵- الف نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد، دقت تشخیص ۷۴ درصد بوده و مدل توانسته است کلاینت های ساکن را با صحت ۹۴ درصد و بازخوانی ۸۵ درصد شناسایی کند و در خصوص این دسته از کلاینت ها بهتر عمل نموده است .

جدول ۷. تحلیل حساسیت مدل نسبت به حذف ویژگی ها

ویژگی حذف شده	دقت مدل پیشنهادی
مدت زمان حضور	٪ ٤٣
توان سیگنال	٪٧٦
بسته های ارسالی	٪ ٧٨
بدون حذف ویژگی	٪ ٨٣



شکل ٤. میانگین ویژگی‌های استخراجی به ازای هر یک از سه دسته کاربر

جدول ۵. ماتریس درهم‌ریختگی

الف) استفاده از روش تفکیک شبکه

	خودرو	عابر	ساکن	بازخوانی
خودرو	۱۷	۱۰	۰	٦٣٪
عابر	۸	۲٦	۱	٪٧٢
ساکن	۰	۵	۳۰	٪٨٥
صحت	٪٦٧	٪٦٣	٪٩٧	دقت: ٧٤٪

ب) استفاده از روش خوشه‌بندی کاهشی

	خودرو	عابر	ساکن	بازخوانی
خودرو	٢٤	٢	٠	٪٩٠
عابر	٨	٢٤	٣	٪٦٧
ساکن	٠	١	٣٥	٪٩٧
صحت	٪٧٥	٪٦٥	٪٩٠	دقت: ٨٣٪

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج روش خوشه‌بندی کاهشی: در این روش نرخ ۰/۵ برای پذیرش[۱۳] و نرخ ۰/۱۵ برای رد[۱۴] استفاده شده است. ماتریس درهم‌ریختگی این روش در جدول شماره ۵-ب بیان شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، دقت مدل ۸۳ درصد بوده است و توانسته است خودرو را با صحت ۷۵ درصد و بازخوانی ۹۰ درصد تشخیص دهد. این مقادیر برای کاربر ساکن ۹۰ و ۹۷ درصد بوده است.

جدول ٦. مقایسه دقت طبقه بندی کنندهای دیگر با مدل پیشنهادی فازی-عصبی

کلاس بندی کننده	دقت
نیوبیز	٪ ۷۸
درخت تصمیم	٪ ۸۲
رگرسیون	٪ ۸۱
شبکه عصبی	٪ ۸۰
شبکه فازی-عصبی	٪ ۸۳

جدول ۷. تحلیل حساسیت مدل نسبت به حذف ویژگی ها

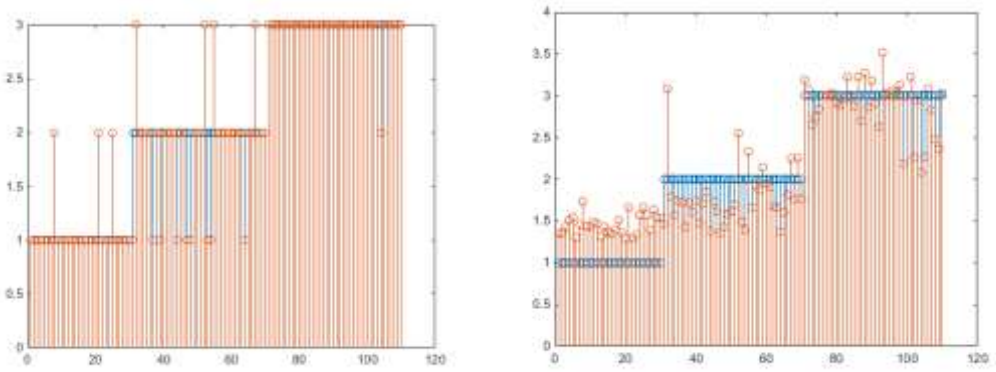
ویژگی حذف شده	دقت مدل پیشنهادی
مدت زمان حضور	٪ ٤۳
توان سیگنال	٪۷٦
بسته های ارسالی	٪ ۷۸
بدون حذف ویژگی	٪ ۸۳

در مجموع می توان گفت روش خوشه‌بندی کاهشی در مدل پیشنهادی به خوبی توانسته است خودرو و کلاینت ساکن را طبقه بندی نماید. جدول شماره ٦ دقت طبقه بندی کنندهای دیگر مانند درخت تصمیم، رگرسیون، شبکه عصبی و نیوبیز را در مقایسه با مدل پیشنهادی ارائه داده است. همانگونه که نشان داده شده است، شبکه فازی- عصبی دقت بالاتری نسبت به دیگر روش ها داشته است.

بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که بهره‌گیری مدل ارائه شده دقت خوبی را جهت شناخت الگوی حرکتی و تحلیل رفتار حمل و نقل داراست. همچنین از لحاظ هزینه نیز بهره‌گیری از این ابزار به منظور جمع‌آوری داده‌های ترافیکی دارای توجیه اقتصادی است. هزینه بهره‌گیری از این فنآوری نسبت به ابزارهای دیگر جمع‌آوری همچون دوربین‌های نظارت تصویری و حتی حلقه‌های مغناطیسی شمارشگر خودرو یا حسگرهای سرشمار (شمارشگر افراد در یک محدوده مشخص) هم از لحاظ هزینه اولیه و هم نگهداری پایین‌تر است. از یک سو وای-فای تلفن همراه کاربران است که هزینه برای متولیان شهری ندارد و ابزاری است که کاربران برای رفع نیازهای خود تهیه و نگهداری می‌نمایند و از سوی دیگر پویشگرهای وای-فای هستند که شامل یک کارت شبکه وای-فای (خارجی یا داخلی[۱۵]) و کامپیوتر ذخیره کننده و تحلیل کننده داده است که می‌تواند از سخت‌افزارهای ارزان قیمت صنعتی مانند رزبری پای[۱٦] استفاده نمود که هزینه تهیه این ابزار کمتر از قیمت یک تلفن همراه هوشمند با امکانات متوسط است. درحالی‌که منطقه تحت پوشش این فنآوری حدود ۳۰۰ متر است که نسبت به روشهای مشابه مانند دوربین‌های نظارت تصویری و شمارشگرهای حلقه یا حتی بلوتوث منطقه بیشتری پوشش می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. نتایج شبکه فازی-عصبی (نقاط قرمز رنگ) در مقایسه با مقادیر هدف الف) قبل از گرد کردن. ب) پس از گرد کردن

به منظور بررسی تاثیر هر کدام از سه ویژگی های در نظر گرفته شده، دقت مدل را به ازای حذف هرکدام از ویژگی ها محاسبه نمودیم. نتایج بررسی در جدول شماره ۷ نشان داده شده است. نتایج بیان می‌کند، تاثیر ویژگی نخست که مدت زمان حضور در شبکه است، دارای بیشترین تاثیر و تعداد بسته های ارسالی کمترین تاثیر را در کاهش دقت نسبت به در نظر گرفتن سه ویژگی دارد.

٤. نتیجه گیری

شناخت الگوی حرکت جمعیتی و شناسایی گونه سفر پیاده و سواره شهروندان یکی از مسائل مهم در حوزه تحلیل‌های شهری و مدیریت حمل و نقل است. در روش‌های سنتی، جمع‌آوری این اطلاعات بر اساس روش میدانی پرسشنامه انجام می‌پذیرفت که با چالش‌هایی همچون هزینه جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و به‌روز نبودن آنها همراه بود. اما با ظهور فنآوری‌های جدید در حوزه ارتباطات، امکان بهره‌گیری از ابزارهای ارتباطی همچون تلفن همراه هوشمند جهت جمع‌آوری و تحلیل داده‌های ترافیکی فراهم گردید.

در این تحقیق با بهره‌گیری از پویشگر وای-فای مدلی ارائه گردیده است که وضعیت کاربران در یک ناحیه را مشخص می‌نماید. کاربران این ناحیه به سه دسته، طبقه بندی می‌گردند. کاربرانی که از خودرو جهت عبور از ناحیه استفاده می‌نماید که معرف گونه سفر موتوری است. کاربرانی که عابر پیاده هستند، و دسته سوم کاربران ساکن که مقصد یا مبدا آنها در ناحیه مذکور قرار دارد و مدت طولانی در آن مکان توقف می‌نمایند. بهره‌گیری از پویشگر وای-فای بر خلاف دیگر تکنیک‌های بکارگرفته شده مانند تحلیل شبکه سلولی، استفاده از موقعیت‌یاب جهانی و حتی بلوتوث از جهت عمومیت، هزینه، حفظ حریم خصوصی و قابلیت دسترسی کاراتر و مناسب‌تر است. در مدل پیشنهادی پس از جمع‌آوری داده‌ها توسط پویشگر که میتواند یک کارت شبکه ساده و نرم‌افزار مربوطه باشد، ابتدا داده‌های نامعتبر و نامرتبط حذف می‌گردند، سپس سه ویژگی براساس زمان حضور کلاینت، قدرت سیگنال آن و تعداد بسته‌های ارسالی تعریف می‌گردد و در نهایت با استفاده از یک شبکه فازی-عصبی تطبیقی داده‌ها به سه دسته طبقه‌بندی می‌گردند. نتایج نشان می‌دهد، شبکه فازی-عصبی که در لایه نخست از روش خوشه‌بندی کاهشی جهت تعیین تابع عضویت فازی ورودی‌ها استفاده نموده است، توانسته است با دقت ۸۳ درصد طبقه‌بندی را انجام دهد. صحت و بازخوانی دسته خودروهای عبوری به ترتیب ۷۵ درصد و ۹۰ درصد بوده است و

www.SID.ir

Archive of SID

تشـخیص کاربران سـاکن با صـحت ۹۰ درصـد و بازخوانی ۹۷ درصد فراهم گردیده است.

در انتها این نکته شایان ذکر است که فنآوری های مشابهی همچون زیگی بی[17] و لای-فای[18] نیز امروزه در حال معرفی و گسـترش هستند که ویژگی های عملکردی مشابه وای فای دارند، اما دارای مضرات محیطی کمتری هستند. مدل پیشنهادی قابل تعمیم در این دسته از فنآوری ها نیز هست.

۵. پی‌نوشت‌ها

1.Mode
2. Bluetooth
3. Wi-Fi
4. Access Point
5. Probe Request
6. MAC Address
7. Hotspot
8. ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System)
9. Grid partitioning
10. Subtractive clustering method
11. Target
12. Confusion matrix
13. Accept ratio
14. Reject ratio
15. External / Internal
16. Rasberry Pi
17. Zigbee
18. Li-fi
19. Cross-validation
20. Fold

٦. مراجع

-Abedi, N., Bhaskar, A. and Chung, E. (2014) "Tracking spatio-temporal movement of human in terms of space utilization using Media-Access-Control address data", Applied Geography, Vol. 51, pp.72-81.

-Araghi, B. N., Pedersen, K. S., Christensen, L.T., Krishnan, R. and Lahrmann, H. (2015) "Accuracy of travel time estimation using Bluetooth technology: Case study Limfjord tunnel Aalborg", International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, Vol. 13, No. 3, pp.166-191

- Bellini, Pierfrancesco, Cenni, Daniele, Nesi, Paolo and Paoli, Irene (2017) "Wi-Fi based city users' behaviour analysis for smart city", Journal of Visual Languages and Computing, Vol. 42, pp.31-45

-Bhaskar, A., Tsubota, T. and Chung, E., (2014) "Urban traffic state estimation: Fusing point and zone based data", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 48, pp.120-142.

-Cisco Company (2018) "White paper: Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2015-2020", February 2016.[Online].Available: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions /collateral/service-provider/ visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html

-Danalet, A., Farooq, B. and Bierlaire, M. (2014) "A Bayesian approach to detect pedestrian destination-sequences from Wi-Fi signatures", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, No. 44, pp.146-170.

-Du, Y., Yue, J., Ji, Y. and Sun, L. (2017) "Exploration of optimal Wi-Fi probes layout and estimation model of real-time pedestrian volume detection", International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 13, No. 11, pp. 1-10

-Engelbrecht, J., Booysen, M. J., van Rooyen, G. J., and Bruwer, F. J. (2015) "Survey of smartphone-based sensing in vehicles for intelligent transportation system applications", IET Intelligent Transport Systems, Vol. 9, Issue 10, pp.924-935.

www.SID.ir

Archive of SID

-Mikkelsen, L., Buchakchiev, R., Madsen, T. and Schwefel, H. P. (2016) "Public transport occupancy estimation using WLAN probing", In Resilient Networks Design and Modeling (RNDM), 2016 8th International Workshop on (pp. 302-308). IEEE

-Min Y. Mun, Deborah Estrin, Jeff Burke, Mark Hansen (2007) "Parsimonious mobility classification using GSM and WiFi traces", In Proceedings of the Fifth Workshop on Embedded Networked Sensors (HotEmNets). Sydney: 4 November,2007

-Moertini, V. (2002) "Introduction to five data clustering algorithm", Integral, Vol. 7, No. 2, pp.87-96.

-Musa, A. B. M. and Eriksson, J. (2012). "Tracking unmodified smartphones using wi-fi monitors", In Proceedings of the 10th ACM conference on embedded network sensor systems, pp. 281-294, (ACM)

-Wind, D. K., Sapiezynski, P., Furman, M. A. and Lehmann, S. (2016) "Inferring stop-locations from Wi-Fi", PloS one, Vol. 11, No. 2, p.e0149105

-Fukuzaki, Y., Mochizuki, M., Murao, K., and Nishio, N. (2014, September) "A pedestrian flow analysis system using Wi-Fi packet sensors to a real environment", In Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication pp. 721-730 ACM.

-Handte, M., Iqbal, M. U., Wagner, S., Apolinarski, W., Marrón, P. J., Navarro, E. M. M. and Fernández, M. G. (2014, March) "Crowd Density Estimation for Public Transport Vehicles", EDBT/ICDT Workshops , pp. 315-322.

-Iqbal, M.S., Choudhury, C. F., Wang, P. and González, M. C. (2014) "Development of origin–destination matrices using mobile phone call data", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 40, pp.63-74.

-Kurkcu, A. and Ozbay, K. (2017) "Estimating pedestrian densities, wait times, and flows with Wi-Fi and Bluetooth sensors", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2644, pp. 72-82.

.

www.SID.ir

Archive of SID

حمیدرضا افتخاری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی کامپیوتر را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه تهران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کامپیوتر، گرایش نرم افزار را در سال ۱۳۸٤ از دانشگاه فردوسی مشهد اخذ نمود. در سال ۱۳۹٦ موفق به کسب درجه دکتری در رشته علوم کامپیوتر از دانشگاه صنعتی امیرکبیر گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان سامانه های حمل و نقل هوشمند، یادگیری ماشین و عامل های هوشمند بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه ملایر است.

www.SID.ir