

مدلسازی حرکت مبتنی بر ردیابی برای شبکه های بی سیم چند هابی

چکیده

مدلسازی حرکت¹ وابسته به سناریو و واقع بینانه برای ارزیابی عملکرد مورد اعتماد شبکه های چند هابی² بسیار مهم است. در دهه گذشته، تعداد قابل توجهی از مدل های حرکت ترکیبی پیشنهاد شدند. به هر حال، تنها چند مورد از این مدل ها توسط ردیابی³ های حرکت واقع بینانه اعتبارسنجی شدند. در چند سال گذشته، چند مورد از این ردیابی ها جمع آوری شدند، تحلیل شدند و در دسترس قرار گرفتند. این مقاله یک بررسی جامع و به روز از (1) ردیابی های حرکت در دسترس، (2) مدلسازی/تحلیل این ردیابی ها، و (3) مدل های حرکتی ترکیبی ارائه می دهد. تمرکز این مقاله بر مدل ها/ردیابی حرکت است که شامل اطلاعات مربوط به موقعیت است. سهم این مقاله خلاصه کردن پژوهش هایی است که در عرصه مدلسازی حرکت در چند سال گذشته انجام شده است و چالش های کارهای آینده را بیان می کند.

کلمات کلیدی: مدلسازی حرکت، ردیابی های حرکت، تحلیل مبتنی بر ردیابی

1. مقدمه

شبیه سازی، تکنیکی است که غالباً برای ارزیابی عملکرد شبکه های بی سیم استفاده می شود. در مقایسه با اجراهای آزمایشی، این تکنیک ها مزایای مربوط به مقیاس پذیری، مولد بودن، مقرون به صرفه بودن را ارائه می دهند. از آنجایی

¹ mobility modeling

² multi-hop networks

³ trace

که الگوهای حرکت گره‌ها، تاثیر قابل توجهی بر نتایج شبیه سازی دارند، نیاز است که مدل‌های حرکت، حرکات گره‌ها را به روش واقع بینانه‌ای شبیه سازی کنند.

چندین مدل حرکت، از زمانی که مدل‌های حرکت برای اتخاذ الگوهای حرکتی گره‌ها به روش واقع بینانه اتخاذ شدند، در دسترس قرار گرفتند. مدل‌های حرکت ترکیبی که بر اساس حرکت تصادفی تولید شده‌اند، ردیابی ترکیبی ایجاد می‌کنند. متأسفانه، نتایج شبیه سازی مدل‌های حرکت ترکیبی اغلب با سناریوهای واقعی یکی نیستند. از طرفی دیگر، مدل‌های حرکت مبتنی بر ردیابی بر اساس ردیابی‌های اتخاذ شده از جهان واقعی است. به دلیل ماهیت واقع بینانه آن‌ها، ردیابی‌های دقت بالایی را از نظر الگوهای حرکتی فراهم می‌کنند؛ به هر حال، آن‌ها به سختی مدل می‌شوند.

مدل‌های حرکت ترکیبی در ارزیابی عملکرد پروتکل‌های شبکه‌ای بی سیم گوناگون استفاده شده‌اند؛ تعجب آور نیست که، این مدل‌ها اغلب در ارزیابی دقیق پروتکل‌ها با شکست مواجه شوند. به منظور کسب نتایجی از مدل‌های حرکت ترکیبی بر اساس شبکه، به شدت مطلوب است که مدل حرکت توسط ردیابی‌های واقع بینانه اعتبارسنجی شوند. ما اشاره می‌کنیم که، تحلیل این ردیابی‌های واقع بینانه بسته به متدهای مجموعه ردیابی‌ها، اندازه جمعیت شبکه، تکنیک فیلتراسیون اعمال شده بر ردیابی‌ها (در صورت وجود) به نتایج متفاوتی منجر شود. بنابراین، نتایج بدست آمده از تحلیل یک ردیابی ممکن است به همه سناریوهای شبکه تعمیم داده نشود. با این وجود، اعتبارسنجی مبتنی بر ردیابی و مدلسازی مبتنی بر ردیابی برای ارزیابی عملکرد قابل اعتماد بسیار مهم هستند.

مدل‌های حرکت ترکیبی گوناگونی در طی دهه گذشته پیشنهاد شدند. چندین بررسی بر حرکت عمومی [6,12,20,77,82] و چند بررسی خاص، برای مثال برای مدل‌های حرکت خودروها [33,37] و برای شبکه‌های موبایل تاکتیکی [4] وجود داشته‌اند. تا آنجا که می‌دانیم، هیچ مقاله تحقیقی وجود ندارد که یک بررسی جامع و به روز از دنباله‌ها، مدلسازی/تحلیل این ردیابی‌ها، مدل‌های حرکت ترکیبی ارائه دهد. سهم این مقاله دو مورد است: (1) خلاصه کارهایی که در عرصه مدلسازی حرکت در چند سال گذشته انجام شده است (مدلسازی حرکت ترکیبی و مدلسازی حرکت مبتنی بر رد) و (2) ارائه چالش‌هایی برای کار آینده.

باقی این مقاله به شرح زیر ساختار یافته است: بخش 2 یک بررسی بر ردیابی‌های موجود را ارائه می‌دهد و نتایج تحلیل مبتنی بر ردیابی اخیر را خلاصه می‌کند. ما ردیابی‌های مبتنی بر سناریو و دقت را، به منظور تاکید بر رابطه ردیابی با واقعیت خلاصه می‌کنیم. بخش 3 نظرسنجی جامعی از مدل‌های حرکت ترکیبی را ارائه می‌دهد، از جمله دسته بندی‌های مبتنی بر وابستگی، اپلیکیشن‌ها/سناریوها، و اعتبارسنجی. در این زمینه، ما بر مولدهای حرکت بررسی‌هایی انجام داده‌ایم. در بخش 4، با چالش‌های موجود برای پژوهش آینده در عرصه مدلسازی حرکت نتیجه می‌گیریم.

2. ردیابی‌ها

در این بخش، ما (1) بر متدهای استفاده شده برای جمع‌آوری ردیابی‌های حرکت بحث می‌کنند، (2) بر ردیابی‌های موجود بررسی‌هایی انجام می‌دهیم، و (3) تحلیل‌های مبتنی بر ردیابی را برای مدلسازی حرکت ارائه می‌دهیم.

2.1 کسب ردیابی‌ها

در اصل، سه متد برای کسب ردیابی‌ها وجود دارند. ابتدا، از ابزار ویژه‌ای برای نظارت بر محل دستگاه‌های ردیابی شده استفاده می‌کنیم. دوم، بر ارتباطات دستگاه‌ها با ایستگاه‌های پایه یک سیستم ارتباطی نظارت می‌کنیم. سوم، بر ارتباطات بین دستگاه‌های موبایل نظارت می‌کنیم. ما بر این سه متد برای کسب ردیابی‌ها در بخش 2.1.1، 2.1.2، 2.1.3 به ترتیب بحث می‌کنیم.

2.1.1 نظارت بر محل یابی

در حال حاضر، سیستم موقعیت یابی جهانی⁴ (GPS) سیستم محل یابی خارجی است که به صورت گسترده استفاده شده است. این سیستم بر اساس ماهواره‌ها کار می‌کند و در زمانی که از گیرنده GPS استاندارد استفاده شود، محل مورد نظر را با دقت چند متر کم و زیاد مشخص می‌کند. دقت گیرنده محل یاب GPS به تعداد ماهواره‌هایی بستگی

⁴ Global Positioning System

دارد که گیرنده از آن‌ها اطلاعات دریافت می‌کند. دستگاه‌های ردیابی خاصی در دسترس هستند که می‌توانند موقعیت‌های دستگاه‌های GPS را برای مدت زمان خاصی ذخیره کنند. از آنجایی که GPS از ماهواره‌ها استفاده می‌کند، تنها برای محیط‌های باز طراحی شده است. علاوه بر این، اگر ساختمان‌ها یا اشیای زیادی وجود داشته باشند که سایه ایجاد کرده باشند (موانعی در مناطق شهری یا درخت‌هایی در جنگل)، دقت ارائه شده توسط GPS ممکن است کافی نباشد.

یک مثال از سیستم موقعیت یابی که هم در فضاهای باز و هم بسته کار می‌کند Place Lab است [61]. با Place Lab، دستگاه‌هایی (مانند لب تاب‌ها، PDAها، و تلفن‌ها سلولی) موقعیت خود را با (1) گوش دادن به IDهای رادیوهای سلولی ثابت (از نقطه دسترسی بی سیم) و (2) موقعیت‌های سلول‌ها را در یک پایگاه داده تخمین می‌زنند. یک مطالعه در Seattle نشان می‌دهد که استانداردهای 802.11 و GSM (سیستم سراسری برای ارتباطات موبایل) به اندازه کافی برای کسب دقت متوسط 20–30 m در تعیین محل کافی هستند.

اگر موقعیت یابی دقیق تری نیاز باشد، یک رویکرد مبتنی بر RFID نیاز است. محصولاتی وجود دارند (مانند LPM، سنجش موقعیت محلی) که دقت کمتر از اینچ را با یک رویکرد مبتنی بر RFID وعده می‌دهند. این سیستم‌ها، کاملاً هزینه بر هستند، و نیازمند زمان راه اندازی قابل توجهی برای کالیبره کردن در راستای کسب دقت محل یابی هستند. Kusy و همکاران [57] رویکرد جالب دیگری را پیشنهاد دادند، مانند موقعیت یابی تداخلات رادیویی⁵ (RIPS). در RIPS، یک جفت گره موج‌های رادیویی را همزمان در فرکانس‌های کمی متفاوت منتشر می‌کنند. یک دستگاه سپس می‌تواند موقعیت خود را با استفاده از آفست فاز نسبی سینگال اندازه گرفته شده از دو گیرنده تخمین بزند. یک ارزیابی تعیین می‌کند که RIPS دقت محل را تا 3cm فراهم می‌کند. Alas، مشابه با LBM است، RIPS کاملاً هزینه بر است، و مشابه با GPS تنها در محیط‌های بیرونی کار می‌کند.

⁵ Radio Interferometric Positioning

2.1.2 نظارت بر ارتباطات

متد دوم برای کسب ردیابی‌های حرکت با استفاده از سیستم‌های ارتباطی موجود و نظارت بر ارتباطات دستگاه‌های ردیابی شده است. محل یک دستگاه می‌تواند با نظارت بر قدرت سیگنال ایستگاه پایه⁶/نقطه دسترسی⁷ (BS/AP) و/یا رخدادهای ارتباطی دستگاه‌ها تقریب زده شود. اگر یک دستگاه به یک سلول (مانند GSM) یا یک نقطه دسترسی (مانند WLAN) متصل شود، سپس دستگاه فرض می‌کند که نزدیک به BS/AP است. علاوه بر این، دستگاه می‌تواند بر قدرت سیگنال خود نظارت کند و فاصله دستگاه تا BS/AP تقریب زده شود.

دقت این رویکرد نظارت بر ارتباطات به دو دلیل محدود می‌شود. ابتدا، دقت به تراکم نقاط دسترسی بستگی دارد؛ علاوه بر این، اگر تراکم نقطه دسترسی کاملاً بالا باشد، یک گره ممکن نیست با نزدیک‌ترین نقطه دسترسی ارتباط برقرار کند. دوم، رویکرد نظارت بر ارتباطات فرض می‌کند که یک همبستگی قوی بین یک نقطه قوت سیگنال دستگاه و فاصله آن تا نقطه دسترسی وجود دارد. این فرض محال است که برقرار شود، به خصوص در محیط‌هایی که محوشدگی عمیق⁸ رخ می‌دهد. به هر حال، یک رویکرد نظارت بر ارتباطات اغلب در محیط‌های سربسته استفاده می‌شود که یک روش غیر هزینه بر برای محل‌یابی یک گره در یک محیط خاص (مانند اتاق) است.

زمانی که یک رویکرد نظارت بر ارتباطات استفاده شود، داده حاصل شده از ردیابی محل ممکن است خیلی دقیق نباشد (داده محل تنها نشان می‌دهد که دستگاه موبایل در طیف ارتباطات BS/AP است). با این وجود، می‌توان از داده‌های محل‌یابی تقریبی برای اعتبارسنجی فرضیات پایه مدل‌های حرکت میکروسکوپی استفاده کرد. علاوه بر این، دقت داده‌های دقیق ممکن است با استفاده از همجوشی داده برای ردیابی بهبود بخشیده شود [11]. هدف همجوشی داده حاصل از رابطه، همبستگی، و ترکیب اطلاعات از یک حسگر واحد یا متعدد برای کسب تخمین‌های اصلاح شده است. تکنیک‌های فیلتر بیزی ([30])، مانند فیلتر ذرات و فیلتر کالمن، می‌تواند برای پس‌بینی⁹ استفاده شود. این رویکردها قدرتمند هستند و هموارسازی داده‌های حاصل از ردیابی را اجازه می‌دهند.

⁶ base station

⁷ access point

⁸ deep fading

⁹ retrodiction

2.1.3 نظارت بر مخاطبین

رویکرد سوم برای ردیابی، استفاده از دستگاه‌های موبایلی است که دیگر دستگاه‌های موبایل حول خود را شنود می‌کنند. با انجام این کار، ردیابی مخاطبین می‌تواند حاصل شود. مخاطبین می‌توانند با استفاده از Bluetooth یا WLAN در یک حالت بدون زیرساخت ردیابی شوند. همه دستگاه‌های دیگر در این طیف به عنوان یک مخاطب دیده می‌شوند. از آنجایی که دستگاه‌ها ممکن است در این ردیابی‌ها سیار باشند معمولاً نمیتوانند به یک محل مطلق نگاشت یابند. برای برخی از انواع شبکه‌ها، مانند شبکه‌های فرصت طلبانه^{۱۰} ([84])، ارتباط بین گره‌های موبایل ممکن است بیشتر از موقعیت حقیقی گره‌ها مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این، ردیابی مخاطبین می‌تواند برای بررسی حرکت و خصیصه اجتماعی آن‌ها استفاده شود. این مشخصه‌ها می‌توانند برای توسعه مدل‌های موجود معتبر و جدید استفاده شوند. علاوه بر این، اخیراً، کارهایی برای استنتاج ردیابی مبتنی بر محل از ردیابی مخاطبین، در حال انجام هستند.

2.2 ردیابی‌های موجود

در این بخش یک بررسی بر ردیابی‌هایی ارائه می‌دهیم که در حال حاضر در دسترس هستند. چندین طرح UNC/FORTH، CRAWDAD و MobiLib وجود دارند که مخازنی را برای ردیابی داده واقعی فراهم میکنند. این مخازن شامل ردیابی‌های واقعی از سناریوهای واقع بینانه و ارزیابی آزمایشی هستند. الگوهای حرکتی که در یک ردیابی از یک ارزیابی آزمایشی وجود دارد اغلب به ارزیابی انجام شده برای آزمایش بستگی دارند (برای مثال دستگاه‌ها بر طبق الگوهای طبیعی حرکت نمی‌کنند). برای اعتبارسنجی مدل‌های حرکتی طبیعی و الگوهای حرکت واقع بینانه این موارد نیاز هستند. بنابراین، ما در جایی که حرکت گره برای ارزیابی منحصر بفرد است از ردیابی‌های آزمایشی استفاده نمی‌کنیم. به عبارت دیگر، برای نظرسنجی، ما از (1) ردیابی‌هایی از سناریوهای واقع بینانه و (2) ردیابی‌هایی از ارزیابی‌های آزمایشی در جایی که الگوهای حرکتی جهان واقعی رخ دهد استفاده می‌کنیم.

¹⁰ opportunistic networks

ما ردیابی‌ها را برطبق تعداد گره‌های استفاده شده در ردیابی، مدت زمان ردیابی، انواع سناریو، داده ردیابی شده، و مخازنی در هر جایی که ردیابی حاصل شود، دسته بندی می‌کنیم. ما دسته بندی‌های خود را در جدول 1 نشان دادیم. همانطور که نشان دادیم، ردیابی‌های زیادی در دسترس هستند. بسیاری از این ردیابی‌ها، کاملاً مشابه هستند و تنها تعداد محدودی از سناریوهای متفاوت و اپلیکیشن‌ها وجود دارد. به خصوص، جدول 1 تشریح می‌کند که ردیابی‌هایی که در حال حاضر وجود دارند اساساً برای کنفرانس، محوطه دانشگاه یا شهرها هستند. بنابراین، یک چالش کار آینده کسب ردیابی دقیق برای انواع سناریوها و اپلیکیشن‌های متفاوت است.

در جدول 1، تنها ردیابی‌هایی را لیست کردیم که به صورت عمومی در دسترس هستند. البته، ردیابی‌هایی وجود دارند که تنها به صورت آزادانه برای جامعه در دسترس هستند. برخی از این‌ها ردیابی‌های (غیرقابل دسترسی) برای تعمیم ردیابی‌های ترکیبی (مانند HWGUI) و شبیه‌سازهای تجاری (VISSIM) استفاده می‌شود. این شبیه‌سازها اغلب توسط دانشمندان از دامنه‌های دیگر استفاده می‌شوند (تولیدکننده ماشین یا طراح شهر یا ترافیک جاده ای). مدل‌های استفاده شده در این دامنه‌ها سناریوهای بسیار خاصی هستند (مانند سناریوهای شهری، روستایی، وسایل نقلیه) و معمولاً بسیار دقیق هستند. بنابراین، برخی از ارزیابی‌های عملکرد شبکه (برای شبکه‌های خودرویی) شبیه‌سازی‌های مختلف حوزه‌های مختلف را به هم وصل میکنند. با انجام این کار، مدل‌های خاص دامنه می‌توانند برای ارزیابی یک سیستم ارتباطی استفاده شوند.

جدول 1: بررسی بر ردیابی‌های موجود. گره‌ها به کاربران منحصر / آدرس MAC در مجموعه ردیابی اشاره می‌کنند.

Trace Source	Trace		Scenario	Traced Data					Repository		
	Nodes	Trace Duration		GPS	GSM/UMTS Cell-ID	Connectivity (WLAN, Bluetooth, RFID)	Signal-Strength (WLAN, Bluetooth, RFID)	Contacts	CRAWDAD	UNC/FORTH	Mobilib
Dartmouth/Campus [34]	1000+	Apr. 11 '01 to Oct. 4 '06	Campus			✓			✓		
FORTH Campus	8 APs	Sept. '05	Campus			✓	✓			✓	
MIT/Reality [25]	100	Jul. 26 '04 to May 5 '05	Campus		✓	✓			✓		✓
NCSU/NCSU [87]	3	Aug. 26 '06 - Nov. 16 '06	Campus	✓					✓		
NCSU/KAIST [87]	4	Sep. 26 '06 - Nov. 11 '06 Sep. 10 '07 - Okt. 03. '07	Campus	✓					✓		
Stanford/Gates [94]	74	Sep. 20 '99 to Dec. 12 '99	Office Build.			✓			✓		
UCSD [70]	275	Sep. 22 '02 to Dec. 8 '02	Campus			✓			✓		
UNC Campus [35]	14712	Sep. 29 '04 to Jun. 20 '05	Campus			✓	✓			✓	
UPMC/Content [60]	40	Oct. 28 '05 to Dec. 21 '05	Campus/City			✓			✓		
USC/Mobilib [39]	4548	Apr. 19 '05 to Aug. 8 '05	Campus			✓			✓		✓
IBM/Watson [9]	1366	Jul. 20 '02 to Aug. 18 '02	Office Build.			✓	✓		✓		
HAGGLE/Intel [22]	128	Jan. 06 '05 to Jan. 11 '05	Office					✓	✓		
IleSansFil/Wifidog	45000	Aug. 28 '04 to Aug. 28 '07	City			✓			✓		
NCSU/NY [87]	8	Okt. 23 '06 - Nov. 24 '06 Dec. 18 '07 - Apr. 18. '08	City	✓					✓		
UW/Places [51]	3	Jun. 7 '04 to Jun. 10 '04	City			✓	✓		✓		
HAGGLE/Cambridge [22]	223	Jan. 25 '05 to Jan. 31 '05	City					✓	✓		
HAGGLE/Content [22]	54 sensors	Oct. 28 '05 to Dec. 21 '05	City					✓	✓		
NOVAY/Cosphere [83]	11	Feb 1 '07 to Mar. 13 2007	City					✓	✓		
NUS/Bluetooth [78]	10,673	Feb 1 '07 to Mar. 13 2007	City					✓	✓		
EPFL/Mobility [85]	~500	Mai 17 '08 to Jun. 10 '08	Public Trans.	✓					✓		
Rice/ad_hoc_city [49]	1200	Oct. 30 '01 to Dec. 2 '01	Public Trans.						✓		
UMass/Diesel [10]	40	Jan. 25 '05 to Dec. 14 '07	Public Trans.	✓		✓			✓		
NCSU/Disney [87]	4	Nov. 19 '06 - Dec. 27 '06 Dec. 16 '07 - Jan. 09. '08	Scene-Park	✓					✓		
NCSU/NC-State-Fair [87]	8	Oct. 24 '06 Oct. 17 '07 - Oct. 21. '07	Fair	✓					✓		
UPMC/Rollernet [98]	1112	3h	Rollerblades					✓	✓		
HOPE/AMD	1281	Jul. 18 '08 to Jul. 20 '08	Conference			✓	✓		✓		
Microsoft/OSDI2006	5 APs	Nov. 6 '06 to Nov. 7 '06	Conference			✓	✓		✓		
UCSB/IETF2005 [48]	112 APs	Mar. 9 '05 to Mar. 10 '05	Conference			✓			✓		✓
UCSD/Sigcomm2001 [8]	195	Aug. 29 '01 to Aug. 31 '01	Conference			✓			✓		
UW/Sigcomm2004 [88]	550	Aug. 30 '04 to Sep. 3 '04	Conference			✓			✓		
HAGGLE/Infocom05 [22]	274	Mar. 07 '05 to Mar. 10 '05	Conference					✓	✓		
HAGGLE/Infocom06 [22]	98 sensors	Apr. 24 '06 to Apr. 27 '06	Conference					✓	✓		
Nottingham/Cattle [103]	100	Jul. 4 '06 to Jul. 13 '06	Animal move.	✓					✓		
Princeton/Zebanet [65]	7	Jan. 12 '04 to Jun. 27 '05	Animal move.	✓					✓		

بسیاری از کنفرانس‌ها و رشته‌های دانشگاهی لیست شده در جدول 1، مانند [52]، با سنجش ارتباط با نقطه دسترسی WLAN حاصل شده است. متأسفانه، همانطور که در بخش 2.1.2 بحث شد، دقت این رویکرد در حد نظارت بر ارتباطات محدود است. از آنجایی که نقطه دسترسی WLA می‌تواند دقت را در طیف WLAN فراهم کند، دقت این ردیابی‌ها به تراکم نقاط دسترسی بستگی دارد. علاوه بر این، ارتباط یک دستگاه به یک نقطه دسترسی حاکی از این نیست که این نقطه دسترسی نزدیک‌ترین مورد است. برای مثال، انتشار سیگنال در یک ساختمان یا بین ساختمان‌ها اغلب محدود به یک محیط است.

یکی از مقاله‌های مورد استفاده [39] است. در این کار، تحلیل ردیابی و مطالعه نویسندگان از سناریوهای دانشگاهی متفاوت آورده شده است: MIT [9]، Dartmouth [34]، UCSD [70]، و USC [39]. نویسندگان بر شباهت‌ها و تفاوت‌های این چهار نوع ردیابی به صورت دقیق بحث کردند. برای مثال، آنها دریافتند که تا زمانی که همه سناریوها دانشگاهی هستند، هریک از این ردیابی‌ها از یک متد جمع‌آوری ردیابی متفاوت استفاده می‌کنند و بر جمعیت‌های متفاوتی تمرکز می‌کنند. یکی از این نتایج استنتاج شده توسط نویسندگان از تحلیل آن‌ها این است که مدل‌های حرکت ترکیبی برای مدلسازی محیط‌های ناهمگن مانند سناریوهای دانشگاهی مناسب نیست.

همانطور که بحث شد، یک چالش مهم برای کار آینده ردیابی دقیق بسیاری از سناریوها و اپلیکیشن‌های متفاوت است. سناریوهای بسیاری وجود دارد، مانند زمان بروز بلایا و میادین جنگ، که برای هریک از آن‌ها هیچ ردیابی دقیقی در دسترس نیست. علاوه بر این، برخی از سناریوها در هر جایی که ردیابی‌ها در دسترس هستند، دقت ردیابی آن‌ها کاملاً محدود است. کارآینده قابل توجهی برای کسب ردیابی دقیق انواع سناریوها و اپلیکیشن‌های متفاوت در دسترس است. به صورت ایده آل، جامعه یک مبنای بزرگ از مدل‌های حرکت میکروسکوپی دقیق را ایجاد کرده است که از طریق مجموعه داده ردیابی جهان واقعی اعتبار سنجی شده است.

2.3 تحلیل مبتنی بر ردیابی

تحلیل مبتنی بر ردیابی چالش‌های جدیدی را با خود به همراه دارد که قبلاً مورد بحث نبودند. یک چالش تغییراتی است که در داده ردیابی وجود دارد. این تغییرات ممکن است به زمان (چند نفر در طول شب در محوطه دانشگاه راه میروند) یا روز (ممکن است در ساختمان اداری در آخر هفته یا تعطیلات هیچ حرکتی وجود نداشته باشد) مربوط است. برای یک تحلیل از تغییرات موجود در یک ردیابی سلولی برای روزهای متفاوت هفته، [100] را ببینید. بسیار مهم است که این تغییرات را در زمان انجام تحلیل مبتنی بر ردیابی در نظر بگیرید.

یک چالش دوم این است که ممکن است ضرورتی در فیلتر کردن داده حاصل از ردیابی وجود داشته باشد. برای مثال، اثر پینگ پونگی بین نقاط دسترسی WLAN متفاوت در [104] مشاهده شده است. به عبارت دیگر، از آنجایی که در یک ساختمان ممکن است چندین نقطه دسترسی موجود داشته باشد، یک کاربر ممکن است دائماً بین دو نقطه دسترسی متفاوت بدون اینکه در واقعیت حرکتی کند، سوئیچ کند. یک راه حل برای این اثر پینگ پونگی تجمع داده بر نقاط دسترسی متفاوت است. در حالی که این راه حل‌ها ممکن است بر همه اثرات پینگ پونگی در داده غلبه کنند، دقت ردیابی محل کاهش می‌یابد.

چالش سوم در تحلیل مبتنی بر ردیابی نیاز به کسب تعداد نمونه‌های کافی برای تحریک یک مدل حرکت است. اگر تعداد نمونه‌ها بسیار کوچک باشند، سپس مدل‌های توسعه یافته ممکن است با الگوهای حرکتی خاصی که در آن‌ها ردیابی کسب می‌شود دچار انحرافات شوند. برای مثال، شاید برخی از دانشجویان در کالج Dartmouth متفاوت از دیگر دانشجویان در دانشگاه فلوریدا حرکت کنند. یک رویکرد غلبه بر این چالش‌ها جمع آوری ردیابی‌ها از چندین سناریو مشابه است (جمع آوری ردیابی‌ها از Florida و Dartmouth). البته، برای تجمع ردیابی‌ها، مهم است که پارامترهای تحلیل شده (معیارهای سرعت و دقت) در ردیابی‌ها با یکدیگر متناظر باشند؛ در غیر اینصورت، ردیابی‌ها ابتدا نیاز دارند که نرمال سازی شوند. اشاره کردیم که این چالش سوم نیز تحت تاثیر دو چالش اول است. به خصوص، زمانی که ردیابی‌های متفاوت جمع آوری می‌شوند، ضروری است که هر تغییری که در طول زمان/روز وجود دارد و هر اثر پینگ پونگی را در نظر بگیرید.

در بخش‌های زیر، تحلیل و مدلسازی مبتنی بر ردیابی را برای سناریوهای متفاوت در نظر می‌گیریم. ابتدا بر حرکت انسانی در کل که شامل ویژگی‌های ارتباطی هست بحث می‌کنیم. سپس بر مدلسازی مبتنی بر ردیابی سناریوهای زیر بحث می‌کنیم: دانشگاهی، اداری، کنفرانس و شهر.

2.3.1 کلیت حرکت انسانی

سناریوهای متفاوت (دانشگاه، شهر، نمایشگاه) ردیابی‌های GPS در [87,59] تحلیل شده است. در کار آن‌ها، نویسندگان تحلیل کردند که پیش‌پردازش‌ها داده با توجه به خطاهای GPS مهم هستند که نشان‌دهنده تغییرات کوچک در این جهت هستند. برای مثال، اگر یک نفر در خط مستقیم راه رود، سیگنال GPS خالص باز خواهد گشت و در راستای خط جلو می‌رود. نویسندگان نویزها را با استفاده از متدهای متفاوت برای تجمع زمان‌های حرکت کوتاه با یکدیگر (مواردی که در یک جهت حرکت می‌کردند) کاهش دادند.

نویسندگان چندین ویژگی جالب راه رفتن انسان را یافتند. ابتدا، راه رفتن انسان در این سناریوهای محیط خارجی (در مقیاس کمتر از 10 کیلومتر) همبستگی آماری با پیاده روی Levy را نشان می‌دهد. پیاده روی Levy به عنوان قلمروی راه رفتن تصادفی تعریف شده است که از گام‌های یک اندازه تشکیل شده است. پیاده روی Levy نسبت به حرکت Brownian توزیع بیشتری دارد، اما نسبت به حرکت‌های یک‌الگوی حرکت تصادفی کمتر توزیع شده است. دوم، زمان‌های حرکت، زمان توقف، زمان بین حرکت‌های انسانی از قانون توانی¹¹ تبعیت می‌کند. نویسندگان [59,87] تعیین کردند که اگر چه محدودیت‌های جغرافیایی می‌تواند در سناریوهای متفاوت تغییر کند، ویژگی قانون توانی مشاهده شده ثابت است. بنابراین، آن‌ها نتیجه گرفتند که فعالیت‌ها و تعاملات انسانی مستثنی از مقیاس و مستقل از محدودیت‌های جغرافیایی هستند. سوم، انسان‌ها در یک مساحت شبیه‌سازی به صورت تصادفی حرکت نمی‌کنند. و الگوهای حرکت آن‌ها از پیش تعیین شده و ناهمگن هستند. علاوه بر این، محیط‌ها عمومی برای بررسی وجود دارند.

¹¹ power-law

بنابراین، محل‌های بازدید شده به عنوان الگوی حرکتی فراکتال^{۱۲} [69] مدل شده است و می‌تواند مکان‌هایی که مورد علاقه مردم است را نشان دهد.

2.3.2 مدل‌سازی مبتنی بر ردیابی سناریوهای دانشگاهی

ردیابی در سناریوهای دانشگاهی بر اساس ردیابی‌های به هم مرتبط است، که از شبکه‌های WLAN گسترده شده در دانشگاه‌ها اتخاذ می‌شود. جدول 2 یک بررسی بر مدل‌ها و تحلیل‌های متفاوت ارائه می‌دهد که از ردیابی‌های موجود دانشکده توسعه یافته است. تحلیل اولیه [44,94,99] نشان می‌دهد که کاربران تمایل دارند که زمان بیشتری را در ارتباط با نقاط دسترسی کوچک سپری کنند. در [99]، نویسندگان تعیین می‌کنند که مقدار زمانی که یک کاربر در یک محل سپری میکند از توزیع قانون توانی با نماهای کوچک تبعیت میکند. در کار اخیر، مانند [52]، نویسندگان اصلاح می‌کنند که توقف زمانی به صورت نرمال توزیع شده است. ما بر توزیع‌های توقف زمانی در این بخش بحث می‌کنیم.

با استفاده از داده حاصل از ردیابی از سناریوهای دانشگاهی، یک مدل حرکت WLAN در [99] پیشنهاد و اعتبارسنجی شده است. در این مدل، گره‌ها بین سلول‌های متفاوت (نقاط دسترسی) حرکت می‌کنند و مسیر حرکت توسط احتمالات گذر بین سلول‌ها تعیین می‌شود. پارامترهای این مدل از ردیابی‌های WLAN دانشگاهی به دست آمده و تحلیل می‌شوند.

تحلیل این سناریوهای دانشگاهی نتایج جالب و مدل‌های جالبی را ارائه می‌دهند؛ به هر حال، همانطور که بحث کردیم، نتایج مدل‌ها از این ردیابی‌های WLAN دانشگاهی شامل همه حرکت‌های کاربر نیستند؛ برای مثال، در یک سناریوی دانشگاهی، یک دانشجو ممکن است در زمانی که قصد ارائه سخنرانی دارد، دستگاه WLAN خود را در خوابگاه جا بگذارد. به عبارت دیگر، مدل‌های توسعه داده شده از این ردیابی‌های WLAN دانشگاهی در زمانی که در ارزیابی عملکرد یک سیستم ارتباطی استفاده می‌شوند، در جایی که دستگاه‌ها همه جا هستند، معایبی دارد.

¹² Fractal Waypoints

تلفن‌های VOIP و PDAها نسبت به لب‌تاپ‌ها فراگیرتر هستند. تفاوت‌هایی بین الگوهای حرکتی لب‌تاپ‌ها و تلفن‌های VOIP دیده شده اند (e.g., [34]). بنابراین، مدل حرکت آماری (مانند [104]) با استفاده از داده‌های ردیابی از لب‌تاپ‌ها و تلفن‌های VoIP توسعه یافته است. برای توسعه این مدل حرکت آماری، نویسندگان ردیابی‌هایی از لب‌تاپ‌ها و تلفن‌های VoIP برای احتمالات گذر و تراکم کاربر تحلیل کردند. نویسندگان کشف کردند که داده حاصل از ردیابی VoIP بسیار دقیق‌تر از داده حاصل از ردیابی لب‌تاپ است. چرا که کاربران بیشتر احتمال دارد که یک تلفن VoIP را در اکثر اوقات روشن نگه دارند، تلفن‌ها در هر نقطه دسترسی که از آن عبور می‌کنند رجیستر می‌شوند. داده ردیابی حاصل از لب‌تاپ‌ها، از طرفی دیگر، درشت‌دانه^{۱۳} است.

جدول 2 مدل‌ها و تحلیل‌های متفاوتی است که از داده دانشگاهی توسعه یافته است ارائه می‌دهد. برای جزییات هر ردیابی جدول 1 را ببینید. همه مدل‌ها با ردیابی‌های مربوطه اعتبارسنجی شدند.

Analysis / Model	Traces used						Devices used	
	Dartmouth/Campus [34]	ETH [99]	MIT/Reality [25]	Stanford/Gates [94]	UCSD [70]	USC/Mobilib [39]	Laptops	Phones / PDAs
Analysis Tang/Baker [94]				✓			✓	
Analysis Jain et al. [44]	✓						✓	
WLAN mob. model [99]		✓					✓	
Analysis Henderson et al. [34]	✓						✓	✓
Campus waypoint model [70]					✓			✓
WLAN mob. model [52]	✓							✓
Statistical mob. model [104]	✓						✓	✓
Time-variant com. mob. model [38,41]	✓		✓		✓	✓		✓

برای ایجاد ردیابی‌های ریز‌دانه^{۱۴} ترکیبی، نویسندگان درون‌یابی را با استفاده از اطلاعات توپولوژیکال و اکتشافات ساده اجرا می‌کنند. الگوی حرکت به عنوان یک زنجیره مارکوف مرتبه دوم مدل می‌شود که از احتمالات حرکت بین محل‌های

¹³ coarse-grained

¹⁴ fine-grained

نقشه متفاوت استفاده می‌کنند. مدل توسط سنجش آماری (برای لب‌تاپ‌ها) و ردیابی‌هایی از دستگاه‌ها (برای تلفن‌های VoIP) پارامتر بندی و اعتبارسنجی می‌شود.

ردیابی PDAها به صورت دقیق در [70] بررسی شده است. مشابه با [104]، نویسندگان کشف کردند که کاربران (دانشجویان) نسبت به ردیابی‌های حاصل از لب‌تاپ‌ها سیار تر هستند. این نتایج شگفت‌آور نیستند؟، چرا که بیشتر احتمال دارد که یک PDA (مانند یک تلفن سلولی) توسط کاربر حمل شود تا لب‌تاپ. با استفاده از ردیابی‌های PDAها، نویسندگان [70] یک مدل نقطه مسیر¹⁵ دانشگاهی را بیان کردند، چرا که این مدل بر اساس ردیابی‌های PDAها است، و مشابه با مدل نقطه مسیر تصادفی کار می‌کند. تفاوت اصلی این است که محل‌ها، سرعت‌ها، و جهات در مدل مسیریابی نقطه‌ای دانشگاهی بر اساس ردیابی‌های حاصل از PDAها است.

هر دو مدل حرکت آماری [104] و مدل نقطه مسیر دانشگاهی [70] راه‌حل‌های ردیابی پارامتر بندی شده‌ای را برای مدل کردن یک سناریوی دانشگاهی در سطح ساختمانی ارائه می‌دهند. هیچ‌یک از این رویکردها همه چالش‌های بحث شده در بخش 2.3 را در نظر نمی‌گیرند؛ به خصوص هیچ‌یک از مدل‌های نقطه مسیر در نظر گرفته شده تغییر موجود در ردیابی‌هایی که در طول زمان/روز وجود دارد را در نظر نمی‌گیرند و دقت محل با توجه به اثر پینگ پونگی تعیین می‌شود.

همانطور که در بخش 2.1.2 بحث شد، دقت ردیابی‌های استنتاج شده از نظارت بر رخداد‌های ارتباطی یک دستگاه محدود است. برای مثال، نویسنده [52] تفاوت‌های قابل توجهی را ارائه می‌دهند که بین ردیابی‌های GPS و ردیابی‌های مبتنی بر اتصالات دستگاه وجود دارند. در حالی که دستگاه‌ها (تلفن‌های VoIP) تنها در طول ساعات روز در [52] نظارت شدند، کار تشریح می‌کند که دقت زمانی که تنها داده ارتباطی برای نظارت بر حرکت استفاده می‌شود یک نگرانی قابل توجه است. نویسنده [68] نیز این نگرانی‌ها را دارد. در [68]، نویسندگان یک تحلیل ارزیابی آزمایشی از داده‌های ارتباطی در حرکت وسایل نقلیه را ارائه دادند. نتایج آنها تشریح می‌کند که یک تصویر پیچیده از ارتباط بین ایستگاه‌های پایه/نقاط دسترسی و خودروهای در حال حرکت وجود دارد؛ به خصوص، آن‌ها دریافتند که خودروهای در

¹⁵ waypoint model

حال گذر از منطقه ایستگاه پایه اغلب با دوره‌های متناوب اتصال ضعیف مواجه می‌شوند. به طور مشابه، اگر حرکت نظارت بر قدرت سیگنال ایستگاه پایه/نقطه دسترسی مشخص شود، دقت یک نگرانی اولیه است. برای مثال، در [27]، نویسندگان تداخل LAN بی سیم را ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که تداخل بین سلولی متداول است اما به خوبی درک نمی‌شود.

به منظور بهبود دقت ردیابی‌ها، نویسندگان [52] پس بینی را با استفاده از یک فیلتر کالمن اجرا کردند. نویسندگان سپس یک مدل حرکت WLAN را با ویژگی‌های زیر پیشنهاد داده‌اند. ابتدا، گره‌ها یا به عنوان گره‌های ثابت (زمانی که حرکت در شعاعی کمتر از 100m است) یا گره‌های سیار در نظر گرفته می‌شوند. دوم، گره‌های ثابت هات اسپات‌های^{۱۶} ثابتی هستند (یا حرکت محدود دارند)؛ گره‌های سیار، از طرفی دیگر، مجاز هستند که در هر محلی در منطقه شبیه سازی آغاز شوند. سوم، گره‌های موبایل یک مقصد (یک هات اسپات) را برای ویزیت با استفاده از ماتریس انتقال احتمالی^{۱۷} انتخاب می‌کنند. چهارم، در مسیری به مقصد منتخب، یک گره چندین نقطه-مسیر را ملاقات میکند (محل‌های واسطه). نقطه-مسیرها در یک مساحت محدود توسط یک کادر انتخاب می‌شود، دو نقطه انتهایی مبدا و مقصد هستند. در آخر، با توجه به داده حاصل از ردیابی‌های واقعی، توزیع زمان توقف و سرعت به صورت نرمال توزیع می‌شود. مدل حرکت WLAN ارائه شده در [52] با توجه به ردیابی، پارامتر بندی و اعتبارسنجی می‌شود.

نویسندگان [101] یک مدل حرکت را ارائه می‌دهند که ردیابی‌های شبکه سیار ارائه شده در [52] را با مدل نقطه-مسیر وزن شده در [40] وزن می‌کنند. مدلی، به نام RealMobGen، یک مدل حرکت NS-2 به سادگی در دسترس، برای حرکت عابر پیاده در یک سناریوی دانشگاهی است. مشخصه‌های پذیرفته شده از [52] شامل جهت حرکت، توزیع سرعت، محل اولیه گره‌ها، توزیع‌های توقف زمانی، نسبت حرکت گره‌های ثابت، توزیع زمانی توقف/حرکت برای یک دوره فعال گره است. مشخصه‌های پذیرفته شده از [40] شامل جزییاتی از هات اسپات‌ها است، برای مثال احتمال وابستگی زمانی تصمیم‌های گذار از هات اسپاتی به هات اسپات دیگر است.

¹⁶ hotspots

¹⁷ probabilistic transition matrix

نویسندگان [41] یک مدل حرکت متغیر زمانی را ارائه دادند. واریانسی که در حرکت در طول زمان وجود دارد با مدل سازی رفتار حرکت برای دوره زمانی های متفاوت تحقق بخشیده می شود. به خصوص، مدل دارای دوره های¹⁸ محلی و دوره های رومینگ است. در طول یک دوره محلی، حرکت محلی به مجموعه گره (یک منطقه محلی) محدود می شود. در طول یک دوره رومینگ، گره قادر است که هر جایی در منطقه را شبیه سازی کند. گذر بین این دو نوع دوره زمانی توسط یک زنجیره مارکوف دو حالتی تحقق یافته است؛ بنابراین، زمانی که یک گره در یک دوره است به صورت نمایی توزیع می شود. برای تحقق واریانس زمانی در مدل، احتمالات گذر زنجیره مارکوف برای دوره های زمانی متفاوت متغیر است.

نویسنده های مدل حرکت اجتماعی متغیر زمانی [41] نشان می دهد که مدل آن ها میتواند برای تطبیق مشخصه های ردیابی های WLAN قبلن به دست آمده پارامتر بندی شود. علاوه بر این، نویسندگان الگوهای رفتاری کاربران بیسیم در ردیابی های WLA متفاوت را از دانشگاه های متفاوت پیدا کردند و دریافتند که جوامع متنوعی وجود دارد [38,39]. این نتایج با نتایج قبلی متناسب است. به خصوص، در [94]، نویسندگان دریافتند که کاربران می توانند در جوامع محلی، بر طبق مشخصه حرکت، فعالیت، استفاده، گروه بندی شوند.

در نتیجه، پژوهش گسترده ای در عرصه مدل های مبتنی بر حرکت برای سناریوهای دانشگاهی یافت می شود. نتایج اصلی از تلاش ها بنابراین برای نتیجه گیری بر این است که:

- کاربران تمایل دارند که هات اسپات ها یا محل های عمومی را بازدید کنند.
- یک حرکت کاربر به جامعه کاربر بستگی دارد (برای مثال شبکه اجتماعی او)
- حرکت کاربر در طول زمان تغییر می کند.

همانطور که در این بخش بحث شد، چندین مدل حرکت متفاوت با مشخصه هایی از سناریوهای دانشگاهی پیشنهاد شدند، پارامتر بندی شدند و اعتبارسنجی شدند. رویکردها و متدلوژی های استفاده شده برای تحلیل و مدلسازی

سناریوهای دانشگاهی، در اصل برای دیگر نوع سناریوها استفاده شدند (سناریوی شهری). چالش اصلی این است که ردیابی‌های واقعی کمی از دیگر سناریوها وجود دارند.

2.3.3 مدل‌سازی مبتنی بر ردیابی در سناریوهای اداری

همانطور که در جدول 1 نشان داده شد، تعداد کمی از ردیابی‌ها برای یک سناریوی اداری وجود دارد. یک ردیابی در [9] تشریح شده است. در این مقاله، نویسندگان ردیابی حرکت را از یک ساختمان اداری شرکتی تحلیل کردند. نویسنده دریافته است که گره‌ها مدت زمان زیادی را در یک محل می‌گذارند؛ علاوه بر این، زمانی که یک گره محل دیگری را بازدید می‌کند؛ مدت بازدید در دوره زمانی کوتاهتری است. نویسندگان نتیجه گرفتند که چندین مشخصه در داده‌های حاصل از ردیابی آن‌ها یافت می‌شود که با مشخصه‌های یافت شده در محیط‌های دیگر منطبق است [53,94]، به خصوص در شبکه‌های عمومی و دانشگاهی.

به هر حال، اشاره کردیم که داده حاصل از ردیابی در مقایسه با سناریوهای اداری [9] و دیگر سناریوها فقط از دستگاه‌های لب تاپ حاصل شده‌اند. همانطور که در بخش 2.3.2 بحث شد، تفاوت‌های موجود بین داده ردیابی دانشگاهی حاصل از تلفن‌های PDA /VoIP و داده ردیابی دانشگاهی حاصل از لب تاپ‌ها وجود دارند؛ برای جزییات [34,70] را ببینید. به خصوص، دستگاه‌های فراگیر مانند PDA نسبت به محل‌های دانشگاهی سیارتر هستند و محل‌های متفاوتی را بازدید می‌کنند. بنابراین، برای حرکت میکروسکوپی دستگاه‌ها فراگیر، تفاوت بین سناریوهای اداری و دانشگاهی ممکن است وجود داشته باشد.

نویسندگان [72] ردیابی‌هایی را از یک استقرار حسگر در یک هفته در یک محیط اداری ردیابی کردند. تحلیل بر محل‌های ملاقات چند نفر در یک سازمان تمرکز می‌کند. با استفاده از نتایج، نویسندگان سپس یک مدل حرکت ملاقات محور را حاصل کردند. به هر حال اشاره میکنیم که مقدار داده حاصل شده در [72] بسیار کوچکتر از مقدار داده حاصل شده در [9] است.

به طور خلاصه، ردیابی‌های بسیار کمی برای یک سناریوی اداری وجود دارند و هیچ یک از این ردیابی‌ها از دستگاه‌های فراگیر استفاده نکردند. یک چالش اصلی برای کار آینده کسب ردیابی‌های بلند مدت دستگاه‌های فراگیر در سناریوهای اداری است. زمانی که این موارد حاصل شدند، محققین نیازمند تحلیل تنگاتنگ با هدف نهایی توسعه یک سناریوی اداری دقیق از مدل حرکت بودند.

2.3.4 مدل‌سازی مبتنی بر ردیابی در سناریوهای کنفرانس

در [8]، یک ردیابی بدست آمده از کنفرانس 2001 ACM SIGCOMM تحلیل شده است. از آنجایی که تنها برچهار نقطه دسترسی در طول کنفرانس نظارت شده است، اطلاعات محل کاربر محدود شده است. بنابراین، نویسندگان الگوهای حرکت کاربر را در این کار در نظر نمی‌گیرند. با این وجود، نویسندگان چند نتیجه جالب را یافته‌اند. به خصوص، تحلیل ردیابی نشان می‌دهد که (1) کاربران به صورت مساوی در چهار نقطه دسترسی توزیع شده‌اند و (2) کاربران در زمانی که از آن‌ها انتظار می‌رود که حرکت کنند؛ سیار هستند (در آغاز و پایان جلسه). ردیابی دیگر سناریوهای کنفرانسی در [8,88,47,48,46] در دسترس هستند. تا آنجا که ما می‌دانیم، هیچ یک از این ردیابی‌ها با توجه به حرکت تحلیل نشده‌اند. بنابراین، مشابه با سناریوهای اداری، کار بیشتری برای تحلیل ردیابی‌ها از سناریوهای کنفرانسی با هدف نهایی توزیع مدل حرکت سناریوی کنفرانسی دقیق نیاز است.

2.3.5 مدل‌سازی مبتنی بر ردیابی در سناریوهای شهری

یک ردیابی در سال 1998 از یک شبکه رادیویی بسته‌ای در [95] تحلیل شده است. نویسنده کشف کرده است که کسر بزرگی از کاربران (65%) تنها هر روز در یک محل دیده می‌شوند. علاوه بر این، هر چه کاربر محل‌های بیشتری را بازدید کند، این محل‌ها به هم نزدیک تر هستند.

در [89]، نویسندگان حرکت یک کاربر را در ملبورن، استرالیا تحلیل کردند؛ حرکات کاربران روزانه در یک logbook برای 61 روز ثبت شدند (سه روز از 61 روز هیچ حرکتی نداشتند). نویسندگان سپس بیان کردند که یک مدل شبه

نقطه-مسیر-تصادفی پارامتر بندی شده می‌تواند بری مدل کردن حرکت یک کاربر در یک شهر بزرگ استفاده شود. نتایج logbook نشان میدهد که توقف زمانی می‌تواند به عنوان یک توزیع مربع کای با درجه آزادی برابر 0.5 مدل شود. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهند که مسیر به مقصد باید در یک روش پیچیده نسبت به مسیر مستقیم اتخاذ شده در مدل نقطه-مسیر-تصادفی مدل شود. در حالی که این نتایج جالب هستند، ردیابی تنها از یک فرد حاصل شده است و نباید تعمیم داده شود.

چند ردیابی دیگر از سناریوهای شهری در دسترس هستند (جدول 1). این ردیابی‌ها در زمینه‌های متفاوت سنجیده می‌شوند. مقاله‌هایی در [10,49,51] در دسترس هستند که در آن‌ها سنجش معماری و هدف از ردیابی تشریح شده است؛ به هر حال تا آنجا که میدانیم، این ردیابی‌ها برای تحلیل یا مدلسازی حرکت استفاده نمی‌شوند. در نتیجه گیری، ردیابی‌های حرکت در سناریوهای شهری نیاز دارند که تحلیل شوند. بار دیگر، هدف نهایی توسعه یک مدل حرکت سناریوهای شهری دقیق است.

3. مدل‌های حرکتی ترکیبی

در بخش 2، ما ردیابی‌هایی را دیدیم که در حال حاضر وجود دارند و تحلیل‌های مبتنی بر ردیابی برای مدلسازی حرکت ارائه شده‌اند. همانطور که بحث شد، چالش اصلی مدل‌های حرکتی ترکیبی اعتبارسنجی این مدل‌ها است. یک روش (شاید بهترین روش) اعتبارسنجی یک مدل حرکت ترکیبی استفاده از ردیابی‌های جمع آوری شده از حرکت جهان واقعی است.

در کل، مدل‌های حرکت می‌تواند به سه گروه دسته بندی شود: میکروسکوپی، ماکروسکوپی و مزوسکوپی. یک مدل میکروسکوپی حرکت گره‌های منفرد را تشریح می‌کنند. معمولاً، محل، سرعت و تسریع گره‌های منفرد در طول زمان در یک مدل میکروسکوپی مدل می‌شوند. یک مدل ماکروسکوپی انتزاعی از حرکات افراد است و تنها مدل‌هایی هستند که پارامترهای آن به سیستم ارزیابی شده مربوط هستند. یک مثال معمولی برای یک مدل ماکروسکوپی تاثیر

حرکت بر منطقه خاص است (مانند سلول). در مدل‌های ماکروسکوپی، محل انتزاعی و معیارهای وابسته به زمان مانند نرخ تغییر سلول یا ترافیک در نظر گرفته شده‌اند. مدل‌های مزوسکوپی حرکت گره‌های متفاوت را جمع‌آوری می‌کند. یک مدل میکروسکوپی زمانی که حرکات گره‌های منفرد دارای یک اثر قطعی بر سیستم ارتباطی است مناسب است. اخیراً، سیستم‌های ارتباطی که شامل مولفه‌های چندحبابی هستند، برای مثال شبکه‌های اد‌هاک سیار¹⁹ (MANETs) یا شبکه‌های مش، بسیار مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. برای ارزیابی عملکرد این سیستم‌ها، مدل‌های میکروسکوپی نیاز هستند. مدل‌های حرکت ماکروسکوپی و مزوسکوپی برای محیط‌های متفاوت مناسب هستند (مانند شبکه‌های سلولی)، و باید در ارزیابی عملکرد شبکه‌های چندحبابی بی‌سیم استفاده شوند. بنابراین بر مدل‌های حرکت میکروسکوپی در این مقاله تمرکز کرده‌ایم.

چندین مدل حرکت میکروسکوپی در طی چند سال گذشته پیشنهاد شده‌اند. برخی از مدل‌ها برای یک سناریوی خاص توسعه یافته‌اند (بازیابی فجایا)، در حالی که دیگر مدل‌ها برای جنریک تر بودن توسعه یافته‌اند. مدل‌های حرکت جنریک معمولاً نسبت به سناریوهای خاص ساده‌تر استفاده می‌شوند، و اغلب تحلیل نظری را اجازه می‌دهند. همه مدل‌های حرکت موجود می‌توانند بر طبق وابستگی‌های موجود در مدل دسته‌بندی شوند. یک دسته بندی جایگزین در نظر گرفتن کاربردها یا سناریوهایی برای مدل‌های توسعه یافته است. در جدول 3، ما به صورت جامع‌ای مدل‌های حرکتی ترکیبی موجود را دسته‌بندی می‌کنیم؛ در این جدول؛ هر دو وابستگی‌ها و کاربردها/سناریوها را به عنوان معیار در نظر می‌گیریم. علاوه بر این، مشخص می‌کنیم که مدل معتبر است یا نه.

¹⁹ Mobile Ad-hoc NETworks

جدول 3: بررسی بر مدل‌های حرکت ترکیبی،^۱ به معنی این است که مدل وابستگی دارد یا به اپلیکیشن/سناریو تعلق دارد یا توسط ردیابی‌های اندازه گرفته شده در سناریوهای واقعی اعتبارسنجی شده اند؛ (✓) به معنی این است که مدل تا حدی وابستگی دارد و به اپلیکیشن‌ها/سناریوها بستگی دارد، مترویی نشان دهنده یک سناریوی شهری کامل نیست یا تا حدی اعتبارسنجی شده است، مانند تشریح دقیق سناریوها یا مصاحبه‌های کارشناسان

Model	Dependencies			Applications / Scenarios							Validated
	temporary	spatial	geographical	Campus	Pop Concert / Fair	City / Urban / Vehicular	Disaster Area	Battle-Field	Daily Movement		
No dependencies											
Random-Waypoint	[50]										
Random-Direction	[90]										
Modified Random-Direction	[90]										
Random-Walk	[20]										
Random-Border-Model	[14]										
Random-Waypoint with attraction points	[14]				✓						
Campus-Waypoint	[70]			✓							
Random-Trip	[58]										
Clustered-Mobility	[64]		(✓)				✓				
Disaster-Recovery	[81]		(✓)				✓				
General Ripple	[23]										
Temporal dependencies											
Gauss-Markov	[62]	✓									
Smooth-Random	[13]	✓									
WLAN	[52]	✓			✓					✓	

Spatial dependencies										
Reference-Point-Group	[36]	(√)	√	(√)						
Structured-Group	[16]		√				(√)	(√)		
Virtual Track	[106]		√				√		√	
Social-Network-founded	[75]		√							
Mold	[63]		√		√					
Community-based	[76]		√							√
Home-cell Community-based	[17]		√							
Geographic Restrictions										
Manhattan-Grid	[28]			√			√			
Graph-based	[96]			√			√			
Obstacle	[45]			√	√					
Weighted-Waypoint	[40]			√	√					
RealMobGen	[101]			√	√					
Voronoi	[107]			√			√			
Area-Graph-based	[15]			√	√					
CosMos	[32]			√						
Hotspot	[67]			√		√				
Route	[67]			√			√			
Random-Waypoint-City	[54]			√			√			
Random-Street	[5]			√			√			
Agenda Based	[105]			√			√			√
Statistical	[104]			√	√					√
Time-variant Community	[41]			√	√					√
Graph-Random-Waypoint	[73]			√			√			
Graph-Random-Walk	[73]			√			√			
Subway	[97]			√			(√)			

ابتدا وابستگی‌های مدل‌های حرکت ترکیبی موجود را در نظر بگیرید. مدل‌های میکروسکوپی می‌تواند متمایز باشد، مشابه با [6]، سه گروه زیر وجود دارد:

- وابستگی‌های زمانی: حرکت یک گره تحت تاثیر حرکت گره در گذشته است.
 - وابستگی‌های فضایی: حرکت یک گره تحت تاثیر گره‌های احاطه کننده است (حرکت گره).
 - محدودیت‌های جغرافیایی: حرکت یک گره به عرصه تعریف شده برای حرکت گره محدود می‌شود.
- مدل‌هایی، مانند نقطه-مسیر-تصادفی و راه رفتن تصادفی وجود دارد، که هیچ یک از این وابستگی‌ها را نشان نمی‌دهند. مدل‌های واقع بینانه تر، از طرفی دیگر، سناریوهای خاصی هستند و یکی از این وابستگی‌ها یا بیشتر را دارند. وابستگی‌های موقتی برای مدل کردن پدیده جهان واقعی مانند شتاب و کاهش سرعت نیاز هستند. وابستگی‌های مکانی

برای مدل کردن رفتار جامعه لازم هستند. محدودیت‌های جغرافیایی، مانند موانع یا خیابان‌ها، هر جایی هستند باید در نظر گرفته شوند.

علاوه بر وابستگی‌ها، ما سناریو یا اپلیکیشن مدل‌های حرکت ترکیبی را در جدول 3 در نظر می‌گیریم. ما مدل‌ها را برطبق سناریوهای تشریح شده در مقاله‌های مربوطه دسته بندی می‌کنیم: دانشگاهی، کنسرت پاپ/دانشگاه، شهری/وسایل نقلیه، مناطق فجایا، میدان نبرد، و حرکت روزانه. دسته بندی مدل‌های ما بر اساس چیزی است که نویسندگان مدل‌ها را در مقاله‌های خود بیان کردند. اشاره کردیم که یک مدل ایجاد شده برای یک سناریو ممکن است مجدد برای قابل اجرا بودن در سناریوی دیگر پارامتر بندی شود.

همانطور که در جدول 3 نشان داده شده است، چندین مدل برای یک سناریو یا اپلیکیشن مشخص ارائه شده‌اند. زمانی که یک مدل برای سناریو یا اپلیکیشن مشخص نیاز است، تصمیم‌گیری بر اینکه کدام مدل استفاده شود، به دلیل تعداد زیاد مدل‌های موجود بسیار سخت است. اگر یک مدل اعتبارسنجی نشده باشد، مدل ارائه ردیابی‌های ترکیبی واقع بینانه را نشان نمیدهد. بنابراین، ارزش آن محدود است. همانطور که در جدول نشان داده شد، بیشتر مدل‌ها توسط ردیابی‌های واقع بینانه یا هر معیار دیگری اعتبارسنجی نشده‌اند. ما اعتبارسنجی مدل‌های ترکیبی موجود را با ردیابی‌ها به عنوان یکی از بزرگترین چالش‌ها برای پژوهش آینده در عرصه مدل سازی حرکت در نظر می‌گیریم.

اشاره می‌کنیم که ممکن است دسته بندی‌های دیگری بر اساس معیار خاصی برای نوع مشخصی از شبکه‌ها وجود داشته باشند. یک مثال از این مورد شبکه‌های فرصت طلبانه است. شبکه‌های فرصت طلبانه می‌توانند با قطعی و بخش بندی دائمی شبکه مقابله کند. حرکت گره به عنوان فرصتی برای ferry data دیده شود. بنابراین، مخاطبین بین جفت گره‌ها و توزیع زمان‌هایی بین استنباط جزئی از منافع خاص برای شبکه‌های فرصت طلبانه است. برای این جامعه دسته بندی مدل‌ها با استفاده از زمان ارتباط آن‌ها و توزیع زمانی بین ارتباط آن‌ها جالب است. معمولاً، توزیع نمایی و قانون توان انتظار می‌رود. ما نمیتوانیم این دسته بندی را در این مقاله به عنوان اجرایی برای همه مدل‌های مورد نیاز فراهم کنیم.

علاوه بر این، ما جزییاتی از مدل‌های حرکتی ترکیبی لیست شده در جدول 3 را ارائه ندادیم، مقاله‌های مربوطه را برای خوانندگان علاقمند نام می‌بریم. کاربران این مدل‌ها، احتمالاً به کشف اجرای مدل‌های موجود علاقمند هستند. در جدول 4 ابزارهای (رایگان) در دسترس برای تولید چندین ردیابی‌های حرکت ترکیبی وجود دارد؛ ما این ابزارها که به صورت عمومی در سایت‌ها قرار ندارند را لیست نمی‌کنیم تنها اجرای یک مدل را ارائه می‌دهیم. این سایت‌ها معمولاً در مقاله‌های آینده نگر ارائه شده‌اند.

4. نتیجه‌گیری و چالش‌هایی برای پژوهش آینده

بخش 2.3 نشان می‌دهد که چندین محقق اخیراً بر تحلیل ردیابی‌های تمرکز کرده‌اند. به هر حال اشاره کردیم که دقت این ردیابی‌ها اغلب محدود هستند، اساساً به این دلیل که بیشتر ردیابی‌ها از نظارت بر ارتباطات با نقاط دسترسی WLAN حاصل شده‌اند. علاوه بر این، داده ردیابی محدودی و تحلیلی برای همه سناریوهای به جز سناریوی دانشگاهی در دسترس است. بنابراین، کار بیشتری در این عرصه نیاز است.

جدول 4: ابزارهای موجود برای تولید ردیابی‌های حرکت ترکیبی

Tool	Models
Toilers-Code-Base [20] [79,80] http://toilers.mines.edu/Public/CodeList	Random-Waypoint (and steady-state variant), Random-Walk, Prob. Random-Walk, Random-Direction, Reference-Point-Group, Gauss-Markov, Column
BonnMotion [1] [5] http://bonnmotion.net.cs.uni-bonn.de	Random-Waypoint, Gauss-Markov, Manhattan-Grid, Reference-Point-Group, Disaster Area Random-Street
Important [7] http://nile.cise.ufl.edu/important/software.htm	Random-Waypoint, Reference-Point-Group, Freeway, Manhattan-Grid
MobiSim [74] http://ce.sharif.edu/~sm_mousavi/mobisim.html	Random-Waypoint, Random-Walk, Reference-Point-Group, Gauss-Markov, Freeway, Manhattan-Grid
CanuMobiSim [93] [92] VanetMobiSim [29] http://vanet.eurecom.fr/	Brownian-Motion, Random-Waypoint, User-oriented-Meta-Model Obstacles Intelligent-Driver
SUMO [55] http://sumo.sourceforge.net/	Urban Vehicular Traffic

همانطور که در جدول 3 نشان داده شد، چندین مدل حرکت اخیراً پیشنهاد شده اند؛ به هر حال، تعداد کوچکی از این مدل‌ها توسط ردیابی‌ها اعتبارسنجی شده اند. همانطور که در جدول 1 نشان داده شد، چندین ردیابی از سنجش‌های متفاوت در مخازنی مانند CRAWDAD, UNC/FORTH, and MobiLib در دسترس هستند. ما محققین را به استفاده از این ردیابی‌های موجود و اعتبارسنجی‌های آن‌ها؛ نشان دادن خرابی، مدل‌های پیشنهادی در جدول 3 تشویق میکنیم.

همانطور که در طول این مقاله بحث شد، تقاضای بسیاری در این عرصه برای کارآینده وجود دارد. ما محققین را تشویق میکنیم که از تحلیل‌ها، رویکردها و متدلوژی‌های کار قبلی به عنوان مبنایی برای پژوهش آینده استفاده کنند. در لیست زیر، بر چندین چالش کلیدی برای پژوهش آینده در عرصه مدلسازی حرکت واقع بینانه تاکید کردیم:

- توسعه سیستم‌های کسب دنباله و موقعیت یابی با دقت کافی برای اتخاذ ردیابی لازم است. دستگاه‌های قدرتمند جدید (مانند تلفن‌های هوشمند) فرصتی را برای جمع‌آوری ردیابی دقیق‌تر ارائه میدهند، در زمان استفاده از این دستگاه‌ها، مسئله حریم خصوصی ظهور کرده ممکن است در نظر گرفته شود.

- کسب ردیابی‌های به عنوان نماینده‌ای از همه نوع سناریوها (بخش 2.2) برای یک اعتبارسنجی مبتنی بر ردیابی و توسعه مدل نیاز است. برای برخی از سناریوها، مانند مناطق فاجعه و سناریوهای میدان جنگ، هیچ ردیابی در دسترس نیست. برای سناریوهای دیگر، ردیابی‌های بسیاری در دسترس هستند که سطح دقت مورد نیاز برای اعتبارسنجی و مدلسازی دقیق را ندارند.

- ارزیابی رویکردهای عمومی که بر چالش‌های تحیل مبتنی بر ردیابی غلبه میکنند (بخش 2.3) برای همه تحلیل‌های مبتنی بر ردیابی مهم هستند. رویکردهای عمومی برای (1) سر و کار داشتن با تغییرات موجود در طول زمان، (2) برای فیلتر کردن اثر پینگ پونگی (مجموعه نقاط دسترسی)، (3) برای اجازه دادن به مقایسه، نرمال سازی و تجمع ردیابی‌های متفاوت نیاز است.

- اگر یک مورد قادر به کسب ردیابی‌های نمونه از سناریوهای غیر دانشگاهی باشد، سپس تحلیل قابل توجهی برای این سناریوها در دسترس است. در این زمینه، مدل‌های موجود باید پارامتر بندی و اعتبارسنجی شوند.

• ردیابی‌های موجود می‌توانند برای پژوهش بین رشته‌ای استفاده شوند. و ممکن است برای بررسی رفتار اجتماعی و درک تفاوت‌های خاص کشور و فرهنگی استفاده شود. بر این مبنا، مدل‌های جدید می‌توانند توسعه یابند.

چالش‌های بیشتر برای پژوهش آینده در [31] مطالعه شده است.

یک منبع جالب پژوهشی که در اینجا بحث نشده است به مدلسازی حرکت اپلیکیشن محور مربوط است. در این مورد، اپلیکیشن توزیع شده ممکن است بر حرکت گره تاثیر داشته باشد. برای مثال، نرم افزار شناسایی گروه UAV یا کشف مکان‌های پارک موجود در شبکه‌های خودرویی را در نظر بگیرید ([19]).

به صورت دقیق، در زمان توسعه یک مدل حرکتی تا جای ممکن دقیق، یک محقق ممکن است استفاده از مدلی را در ذهن داشته باشد. یک تحلیل گر عملگر (کسی که مدلسازی حرکت را پژوهش نکرده است) مدل‌های ساده و آسان استفاده شو را ترجیح می‌دهد. بنابراین، یک مدل دقیق تر (و پیچیده تر) تنها در صورتی معقول به نظر می‌رسد که شامل جزئیاتی در مورد تاثیر نتایج ارزیابی عملکرد مدل باشد. اگر هیچ تاثیری بر نتایج ارزیابی عملکرد وجود نداشته باشد، استفاده کمی برای مدل‌های دقیق تر وجود دارد.

References

- [1] N. Aschenbruck, R. Ernst, E. Gerhards-Padilla, M. Schwamborn, BonnMotion – a mobility scenario generation and analysis tool, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Simulation Tools and Techniques, 2010.
- [2] N. Aschenbruck, R. Ernst, P. Martini, Indoor mobility modelling, Accepted for IEEE Globecom 2010 Workshop on Mobile Computing and Emerging Communication Networks, 2010.
- [3] N. Aschenbruck, E. Gerhards-Padilla, M. Gerharz, M. Frank, P. Martini, Modelling mobility in disaster area scenarios, in: Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems, 2007, pp. 4–12.
- [4] N. Aschenbruck, E. Gerhards-Padilla, P. Martinia, J. Tölle, A survey on mobility models for performance analysis in tactical mobile networks, Journal of Telecommunications and Information Technology 2 (2004) 668–675.
- [5] N. Aschenbruck, M. Schwamborn, Synthetic map-based mobility traces for the performance evaluation in opportunistic networks, in: Proceedings of the 2nd International Workshop on Mobile Opportunistic Networking, 2010.
- [6] F. Bai, A. Helmy, A Survey of Mobility Models, 2004. Available from:
- [7] F. Bai, N. Sadagopan, A. Helmy, IMPORTANT: a framework to systematically analyze the Impact of Mobility on Performance of Routing protocols for Adhoc Networks, in: Proceedings of the 22th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, pp. 825–835, 2003.
- [8] A. Balachandran, G. Voelker, P. Bahl, P. Rangan, Characterizing user behavior and network performance in a public wireless LAN, ACM Sigmetrics Performance Evaluation Review 30 (1) (2002) 195–205.

- [9] M. Balazinska, P. Castro, Characterizing mobility and network usage in a corporate wireless local-area network, in: Proceedings of the 1st International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, pp. 303–316, 2003.
- [10] N. Banerjee, M.D. Corner, B. Levine, An energy-efficient architecture for DTN throwboxes, in: Proceedings of the 26th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, pp. 776–784, 2007.
- [11] Y. Bar-Shalom, X.R. Li, T. Kirubarajan, Estimation with Applications to Tracking and Navigation, Wiley, 2001.
- [12] C. Bettstetter, Mobility modeling in wireless networks: categorization, smooth movement, and border effects, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review 5 (3) (2001) 55–66.
- [13] C. Bettstetter, Smooth is better than sharp: a random mobility model for simulation of wireless networks, in: Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems, pp. 19–27, 2001.
- [14] C. Bettstetter, C. Wagner, The spatial node distribution of the random waypoint mobility model, in: Proceedings of the 1st German Workshop on Mobile Ad-Hoc Networks, pp. 41–58, 2002.
- [15] S. Bittner, W.-U. Raffle, M. Scholz, The area graph-based mobility model and its impact on data dissemination, in: Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, pp. 268–272, 2005.
- [16] K. Blakely, B. Lowekamp, A structured group mobility model for the simulation of mobile ad hoc networks, in: Proceedings of the 2nd International Workshop on Mobility Management & Wireless Access Protocols, pp. 111–118, 2004.
- [17] C. Boldrini, A. Passarella, HCMM: modelling spatial and temporal properties of human mobility driven by users' social relationships, Computer Communications 33 (9) (2010) 1056–1074.
- [18] V. Borrel, F. Legendre, M. De Amorim, S. Fdida, SIMPS: using sociology for personal mobility, IEEE/ACM Transactions on Networking 17 (3) (2009) 831–842.
- [19] M. Caliskan, D. Graupner, M. Mauve, Decentralized discovery of free parking places, in: Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, pp. 30–39, 2006.
- [20] T. Camp, J. Boleng, V. Davies, A survey of mobility models for ad hoc network research, Wireless Communication and Mobile Computing: Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications 2 (5) (2002) 483–502.
- [21] A. Chaintreau, P. Hui, J. Crowcroft, C. Diot, R. Gass, J. Scott, Impact of human mobility on opportunistic forwarding algorithms, IEEE Transactions on Mobile Computing 6 (6) (2007) 606–620.
- [22] A. Chaintreau, A. Mtibaa, L. Massoulie, C. Diot, The diameter of opportunistic mobile networks, in: Proceedings of the International Conference On Emerging Networking Experiments And Technologies, 2007.
- [23] C.-H. Chen, H.-T. Wu, K.-W. Ke, General ripple mobility model of speed-time pairing, IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 4057–4062, 2007.
- [24] D.R. Choffnes, F.E. Bustamante, An integrated mobility and traffic model for vehicular wireless networks, in: Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, pp. 69–78, 2005.
- [25] N. Eagle, A. (Sandy) Pentland, Reality mining: sensing complex social systems, Personal and Ubiquitous Computing 10 (4) (2006) 255–268.
- [26] F. Ekman, A. Keränen, J. Karvo, J. Ott, Working day movement model, in: Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE Workshop on Mobility Models for Networking Research, pp. 33–40, 2008.
- [27] M.A. Ergin, K. Ramachandran, M. Gruteser, Understanding the effect of access point density on wireless LAN performance, in: Proceedings of the 13th Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 350–353, 2007.
- [28] Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) – selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS, Umts 30.03 version 3.2.0, tr 101 112 ed., European Telecommunications Standards Institute (ETSI), 1998.
- [29] M. Fiore, J. Härri, F. Fethi, C. Bonnet, Vehicular mobility simulation for VANETs, in: Proceedings of the 40th IEEE Annual Simulation Symposium, 2007.

- [30] D. Fox, J. Hightower, L. Liao, D. Schulz, G. Borriello, Bayesian filtering for location estimation, *IEEE Pervasive Computing* 2 (3) (2003) 24–33.
- [31] M. Gerla, D. Raychaudhuri, J. Wu, NSF Mobility in Wireless Networks Workshop – Summary, 2007.
- [32] M. Günes, J. Siekermann, CosMos – communication scenario and mobility scenario generator for mobile ad-hoc networks, in: *Proceedings of the 2nd International Workshop on MANETs and Interoperability Issues*, 2005.
- [33] J. Harri, F. Filali, C. Bonnet, Mobility models for vehicular ad hoc networks: a survey and taxonomy, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 11 (4) (2009).
- [34] T. Henderson, D. Kotz, I. Abyzov, The changing usage of a mature campuswide wireless network, in: *Proceedings of the 10th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 187–201, 2004.
- [35] F. Hernandez-Campos, M. Papadopouli, A comparative measurement study of the workload of wireless access points in campus networks, in: *Proceedings of the 16th Annual IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 1776–1780, 2005.
- [36] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, C.-C. Chiang, A group mobility model for ad hoc wireless networks, in: *Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pp. 53–60, 1999.
- [37] S.P. Hoogendoorn, P.H.L. Bovy, State-of-the-art of vehicular traffic flow modelling, *Journal of Systems and Control Engineering – Special Issue on Road Traffic Modelling and Control* 215 (4) (2001) 283–304.
- [38] W.-j. Hsu, D. Dutta, A. Helmy, Mining behavioral groups in large wireless LANs, in: *Proceedings of the 13th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 338–341, 2007.
- [39] W.-j. Hsu, A. Helmy, IMPACT: investigation of mobile-user patterns across university campuses using WLAN trace analysis, USC Technical Report, 2005.
- [40] W.-j. Hsu, K. Merchant, H.-w. Shu, C.-h. Hsu, A. Helmy, Weighted waypoint mobility model and its impact on ad hoc networks, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 9 (1) (2005) 59–63.
- [41] W.-j. Hsu, T. Spyropoulos, K. Psounis, A. Helmy, Modeling spatial and temporal dependencies of user mobility in wireless mobile networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking* 17 (5) (2009) 1564–1577.
- [42] Y. Huang, W. He, K. Nahrstedt, W.C. Lee, CORPS: event-driven incident mobility model for first responders in incident scene, in: *Proceedings of the IEEE Military Communications Conference*, pp. 1–7, 2008.
- [43] M. Jahnke, A. Wenzel, G. Klein, FKIE-Bericht Nr. 163: Verfahren zur Erkennung von Angriffen gegen taktische MANETs, Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FGAN-FKIE), Tech. Rep., 2008 (in German).
- [44] R. Jain, D. Lelescu, M. Balakrishnan, Model T: an empirical model for user registration patterns in a campus wireless LAN, in: *Proceedings of the 11th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 170–184, 2005.
- [45] A. Jardosh, E.M. Belding-Royer, K.C. Almeroth, S. Suri, Towards realistic mobility models for mobile ad hoc networks, in: *Proceedings of the 9th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 217–229, 2003.
- [46] A.P. Jardosh, K. Mittal, K. Ramachandran, E.M. Belding, K.C. Almeroth, IQU: practical queue-based user association management for WLANs, in: *Proceedings of the 12th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 158–169, 2006.
- [47] A.P. Jardosh, K.N. Ramachandran, K.C. Almeroth, E.M. Belding-Royer, Understanding congestion in IEEE 802.11b wireless networks, in: *Proceedings of the 5th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement*, 2005.
- [48] —, Understanding link-layer behavior in highly congested IEEE 802.11b wireless networks, in: *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Experimental Approaches to Wireless Network Design and Analysis*, pp. 11–16, 2005.

- [49] J. Jetcheva, Y.-C. Hu, S. PalChaudhuri, A. Saha, D. Johnson, Design and evaluation of a metropolitan area multitier wireless ad hoc network architecture, in: Proceedings of the 5th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 32–43, 2003.
- [50] D.B. Johnson, D.A. Maltz, Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks, Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996. vol. 353, pp. 153–181.
- [51] J.H. Kang, W. Welbourne, B. Stewart, G. Borriello, Extracting places from traces of locations, in: Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots, pp. 110–118, 2004.
- [52] M. Kim, D. Kotz, S. Kim, Extracting a mobility model from real user traces, in: Proceedings of the 25th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, pp. 1–13, 2006.
- [53] D. Kotz, K. Essien, Analysis of a campus-wide wireless network, in: Proceedings of the 8th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, 2002.
- [54] J. Kraaijer, U. Killat, The random waypoint city model – user distribution in a street-based mobility model for wireless network simulations, in: Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots, pp. 100–103, 2005.
- [55] D. Krajzewicz, G. Hertkorn, C. Rössel, P. Wagner, SUMO (Simulation of Urban MObility); an open-source traffic simulation, in: Proceedings of the 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling, pp. 183–187, 2002.
- [56] E. Kuiper, S. Nadjm-Tehrani, Mobility models for UAV group reconnaissance applications, in: Proceedings of the International Conference on Wireless and Mobile Communications, 2006.
- [57] B. Kusy, J. Sallai, G. Balogh, A. Ledeczi, V. Protopopescu, J. Tolliver, F. DeNap, M. Parang, Radio interferometric tracking of mobile wireless nodes, in: Proceedings of the 5th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, pp. 139–151, 2007.
- [58] J.-Y. Le Boudec, M. Vojnovic, The random trip model: stability, stationary regime, and perfect simulation, IEEE/ACM Transactions on Networking 14 (2006) 1153–1166.
- [59] K. Lee, S. Hong, S.J. Kim, I. Rhee, S. Chong, SLAW: a mobility model for human walks, in: Proceedings of the 28th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, pp. 855–863, 2009.
- [60] J. Leguay, A. Lindgren, J. Scott, T. Friedman, J. Crowcroft, Opportunistic content distribution in an urban setting, in: Proceedings of the ACM Workshop on Challenged Networks, pp. 205–212, 2006.
- [61] J. Letchner, D. Fox, A. LaMarca, Large-scale localization from wireless signal strength, in: Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, 2005.
- [62] B. Liang, Z.J. Haas, Predictive distance-based mobility management for multidimensional PCS networks, IEEE/ACM Transactions on Networking 11 (5) (2003) 718–732.
- [63] S.-T. Liang, W.-H. Sheng, The mold mobility model for mobile wireless networks, in: Proceedings of the 1st International Conference on Wireless Internet, pp. 79–84, 2005.
- [64] S. Lim, C. Yu, C.R. Das, Clustered mobility model for scale-free wireless networks, in: Proceedings of 31st IEEE Conference on Local Computer Networks, pp. 231–238, 2006.
- [65] T. Liu, C.M. Sadler, P. Zhang, M. Martonosi, Implementing software on resource-constrained mobile. Sensors: experiences with impala and ZebraNet, in: Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, pp. 256–269, 2004.
- [66] C. Lochert, M. Caliskan, B. Scheuermann, A. Barthels, A. Cervantes, M. Mauve, Multiple simulator interlinking environment for inter vehicle communication, in: Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, pp. 87–88, 2005.
- [67] G. Lu, D. Belis, G. Manson, Study on environment mobility models for mobile ad hoc network: hotspot mobility model and route mobility model, in: Proceedings of the International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, pp. 808–813, 2005.
- [68] R. Mahajan, J. Zahorjan, B. Zill, Understanding WiFi-based connectivity from moving vehicles, in: Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement, pp. 321–326, 2007.
- [69] B.B. Mandelbrot, The Fractal Geometry of Nature, W.H. Freeman and Company, 1977.

- [70] M. McNett, G.M. Voelker, Access and mobility of wireless PDA users, *Mobile Computing Communications Review* 9 (2) (2005) 40–55.
- [71] A. Mei, J. Stefa, SWIM: a simple model to generate small mobile worlds, in: *Proceedings of the 28th IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 2106–2113, 2009.
- [72] D. Minder, P.J. Marrón, A. Lachenmann, K. Rothermel, Experimental construction of a meeting model for smart office environments, in: *Proceedings of the 1st Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks*, 2005.
- [73] P.S. Mogre, M. Hollick, N. d’Heureuse, H.W. Heckel, T. Krop, R. Steinmetz, A graph-based simple mobility model, in: *Proceedings of the 4th German Workshop on Mobile Ad-Hoc Networks*, pp. 421–432, 2007.
- [74] S.M. Mousavi, H.R. Rabiee, M. Moshref, A. Dabirmoghaddam, MobiSim: a framework for simulation of mobility models in mobile ad-hoc networks, in: *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, 2007.
- [75] M. Musolesi, S. Hailes, C. Mascolo, An ad hoc mobility model founded on social network theory, in: *Proceedings of the 7th ACM International Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pp. 20–24, 2004.
- [76] M. Musolesi, C. Mascolo, Designing mobility models based on social network theory, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 11 (3) (2007) 59–70.
- [77] M. Musolesi, C. Mascolo, Mobility models for systems evaluation, *State of the Art on Middleware for Network Eccentric and Mobile Applications* (2008).
- [78] A. Natarajan, M. Motani, V. Srinivasan, Understanding urban interactions from bluetooth phone contact traces, in: *Proceedings of the 8th Passive and Active Measurement Conference*, pp. 115–124, 2007.
- [79] W. Navidi, T. Camp, Stationary distributions for the random waypoint mobility model, *IEEE Transactions on Mobile Computing* 3 (1) (2004) 99–108.
- [80] W. Navidi, T. Camp, N. Bauer, Improving the accuracy of random waypoint simulations through steady-state initialization, in: *Proceedings of the 15th International Conference on Modeling and Simulation*, pp. 319–326, 2004.
- [81] S. Nelson, A. Harris, R. Kravets, Event-driven, role-based mobility in disaster recovery networks, in: *Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Challenged Networks*, pp. 27–34, 2007.
- [82] B. Pazand, C. McDonald, A critique of mobility models for wireless network simulation, in: *Proceedings of the 6th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science*, pp. 141–146, 2007.
- [83] A. Peddemors, H. Eertink, I. Niemegeers, Experience-based network resource usage on mobile hosts, in: *Proceedings of the 2nd Conference on Future Networking Technologies – Student Workshop Poster*, 2006.
- [84] L. Pelusi, A. Passarella, M. Conti, Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks, *IEEE Communications Magazine Issue on Ad Hoc and Sensor Networks* 44 (11) (2006) 134–141.
- [85] M. Piorkowski, N. Sarafijanovic-Djukic, M. Grossglauser, A parsimonious model of mobile partitioned networks with clustering, in: *Proceedings of the First International Conference on Communication Systems and Networks*, 2009.
- [86] S. Reidt, S.D. Wolthusen, An evaluation of cluster head TA distribution mechanisms in tactical MANET environments, in: *Proceedings of the Annual Conference of ITA*, 2007.
- [87] I. Rhee, M. Shin, S. Hong, K. Lee, S. Chong, On the levy-walk nature of human mobility, in: *Proceedings of the 27th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, pp. 924–932, 2008.
- [88] M. Rodrig, C. Reis, R. Mahajan, D. Wetherall, J. Zahorjan, Measurement-based characterization of 802.11 in a hotspot setting, in: *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Experimental Approaches to Wireless Network Design and Analysis*, pp. 5–10, 2005.
- [89] A. Rojas, P. Branch, G. Armitage, Experimental validation of the random waypoint mobility model through a real world mobility trace for large geographical areas, in: *Proceedings of the 8th ACM International Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pp. 174–177, 2005.
- [90] E.M. Royer, P.M. Melliar-Smith, L.E. Moser, An analysis of the optimum node density for ad hoc mobile networks, in: *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, vol. 3, pp. 857–861, 2001.

- [91] M. Schwamborn, N. Aschenbruck, P. Martini, A realistic trace-based mobility model for first responder scenarios, in: Proceedings of the ACM-IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, 2010.
- [92] A.-K. Souley, S. Cherkaoui, Advanced mobility models for ad hoc network simulations, in: Proceedings of the 2005 Systems Communications, pp. 50–55, 2005.
- [93] I. Stepanov, J. Hähner, C. Becker, J. Tian, K. Rothermel, A meta-model and framework for user mobility in mobile networks, in: Proceedings of the 11th International Conference on Networks, pp. 231–238, 2003.
- [94] D. Tang, M. Baker, Analysis of a local-area wireless network, in: Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 1–10, 2000.
- [95] D. Tang, M. Baker, Analysis of a metropolitan-area wireless network, *Wireless Networks* 8 (2–3) (2002) 107–120.
- [96] J. Tian, J. Hähner, C. Becker, I. Stepanov, K. Rothermel, Graph-based mobility model for mobile ad hoc network simulation, in: Proceedings of the 35th Annual Simulation Symposium, pp. 337–344, 2002.
- [97] V. Toubiana, H. Labiod, B. Fischer, Event based mobility model for subway scenarios, in: Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2007.
- [98] P.U. Tournoux, J. Leguay, F. Benbadis, V. Conan, M.D. de Amorim, J. Whitbeck, The accordion phenomenon: analysis, characterization, and impact on DTN routing, in: Proceedings of the 28th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, pp. 1116–1124, 2009.
- [99] C. Tuduca, T. Gross, A mobility model based on WLAN traces and its validation, in: Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, pp. 664–674, 2005.
- [100] H. Verkasalo, Contextual usage-level analysis of mobile services, in: Proceedings of the 4th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, pp. 1–8, 2007.
- [101] C. Walsh, A. Doci, T. Camp, A call to arms: It is time for REAL mobility models, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 12 (1) (2008) 34–36.
- [102] J. Whitbeck, M.D. de Amorim, V. Conan, Plausible mobility: inferring movement from contacts, in: Proceedings of the Second International Workshop on Mobile Opportunistic Networking, 2010.
- [103] B. Wietrzyk, M. Radenkovic, I. Kostadinov, Practical MANETs for pervasive cattle monitoring, in: Proceedings of the Seventh International Conference on Networking, pp. 14–23, 2008.
- [104] J. Yoon, B.D. Noble, M. Liu, M. Kim, Building realistic mobility models from coarse-grained traces, in: Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, pp. 177–190, 2006.
- [105] Q. Zheng, X. Hong, J. Liu, An agenda based mobility model, in: Proceedings of the 39th Annual Symposium on Simulation, pp. 188–195, 2006.
- [106] B. Zhou, K. Xu, M. Gerla, Group and swarm mobility models for ad hoc network scenarios using virtual tracks, in: Proceedings of the IEEE Military Communications Conference, pp. 289–294, 2004.
- [107] H.-M. Zimmermann, I. Gruber, A voronoi-based mobility model for urban environments, in: Proceedings of European Wireless, 2005.