بهینه‌سازی مسیر درایوتست در شبکه‌های تلفن همراه

علی نظری*[۱]، مصطفی فلاح[۲]، محمدجواد طاهری[۳]، ابوالفضل دیانت[۴]

کارشناس‌ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش شبکه‌های کامپیوتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران*[۱]

دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش شبکه‌های کامپیوتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران[۲]

کارشناس‌ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش شبکه‌های کامپیوتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران[۳]

استادیار دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران[۴]

چکیده

عملکرد سلول‌ها در ناحیهٔ دسترسی رادیویی شبکه‌های تلفن همراه به‌صورت مستمر پایش می‌شود تا عمل‌گرها بتوانند کیفیت و پوشش شبکه را در برابر تغییرات محیطی و الگوی مصرف کاربران بهینه‌سازی کنند. درایوتست یک روش مرسوم برای جمع‌آوری داده در مورد وضعیت شبکه در موقعیت‌های مختلف جغرافیایی است؛ در این روش، تمام نقاط جغرافیایی شامل تمامی خیابان‌ها و معابر یک بخش از نقشه پیمایش می‌شود تا وضعیت سرویس‌دهی شبکه در این نقاط مشخص شود. عمل‌گرها از داده‌های ارزشمند به‌دست‌آمده از این روش برای بهینه‌سازی شبکه‌های تلفن همراه استفاده می‌کنند. این فرایند هزینهٔ زیادی برای عمل‌گرهای شبکه به همراه دارد و زمان‌بر است. در این مقاله، روش جدیدی برای بهینه‌سازی فرایند جمع‌آوری داده‌ها در درایوتست شبکه‌های تلفن همراه ارائه می‌شود تا به جای پیمایش تمامی معابر در یک منطقه، یک مسیر جایگزین و کوتاه‌تر پیمایش شود و بتوان با هزینهٔ کمتری به نقاطی که RSRP نامناسبی در یک بخش از شهر دارند، دست‌یافت؛ علاوه‌بر این، در این مقاله معیاری برای ارزیابی یک مسیر برای انجام درایوتست معرفی شده که تابعی از میزان موفقیت این مسیر در یافتن نقاط دارای RSRP نامناسب و مسافت لازم برای پیمایش این مسیر است؛ درنهایت، مسیر پیشنهادی در این روش نیز با استفاده از داده‌های واقعی درایوتست‌های قبلی و معیار معرفی‌شده ارزیابی شده‌است.

واژگان کلیدی: شبکه‌های تلفن همراه، درایوتست، بهینه‌سازی مسیر، قدرت سیگنال دریافتی.

Drive Test Route Optimization in Mobile Networks

Ali Nazari*[1], Mostafa Fallah[2], Mohamad Javad Taheri[3], Abolfazl Diyanat[4]

M.Sc. in Computer Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran[1*]

M.Sc. Student in Computer Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran[2]

M.Sc. in Computer Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran[3]

Assistant Professor, Faculty of Computer Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran[3*]

Abstract

The design and maintenance of the radio access network (RAN) in mobile telecommunications requires meticulous monitoring of network performance to ensure optimal quality and coverage. Drive testing is a prevalent methodology for collecting data on network status across delineated geographical areas. This process involves systematically traversing various routes, including streets and pathways, to assess network performance metrics such as Reference Signal Received Power (RSRP). Although drive testing provides essential insights for identifying regions with inadequate signal quality, it is inherently resource-intensive, involving considerable time and financial expenditures. This paper proposes an innovative optimization methodology aimed at enhancing the efficiency of data collection during drive tests. The proposed approach is organized into four fundamental steps: (1) partitioning the map into smaller sections, (2) selecting critical points within each section, (3) employing map-matching techniques to accurately align these points with actual streets and pathways, and (4) determining the optimal route

* Corresponding author

*نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۴/۸ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۱۴ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۳/۲۸ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]

for traversing the critical points. A rectangular area of interest is selected and divided into K smaller sub-regions, within which M critical points are identified according to a predefined criterion. These points, which may not initially correspond with the existing street network, are corrected through map-matching techniques to ensure feasible traversal paths. Lastly, an optimization algorithm is utilized to compute the shortest route that encompasses all identified critical points. The efficacy of the proposed method is assessed through experimental studies that manipulate key parameters K (denoting the number of sub-regions) and M (indicating the maximum critical points per zone). The evaluation emphasizes two critical metrics: the total distance traveled and the success rate in detecting areas with RSRP values below -100 dBm. Results indicate that the proposed approach significantly decreases the distance required for drive testing while achieving substantial coverage of areas with weak signals. For example, in an experiment where the optimized route covered only 18.54 kilometers—equivalent to 34% of the distance of an entire drive test—it successfully identified 70% of regions with poor RSRP. Furthermore, this paper introduces a criterion for assessing the effectiveness of drive test routes, highlighting the balance between route length and coverage of low-signal areas. The findings substantiate that adequate data for network performance analysis can be secured with considerable savings in both cost and time compared to conventional exhaustive drive testing. While this study concentrates on RSRP measurements within 4G networks, the proposed methodology is adaptable for other metrics, including Reference Signal Received Quality (RSRQ). Future research may also examine the integration of alternative data sources, such as satellite imagery, to further refine map partitioning and critical point selection, thereby enhancing the overall efficacy of the proposed method.

Keywords: Mobile Networks, Drive Test, Route Optimization, Reference Signal Received Power (RSRP).

۱-مقدمه

شبکه‌های تلفن همراه در طبقه‌بندی شبکه‌های سلولی قرار می‌گیرند و برای ایجاد چنین شبکه‌ای باید تعدادی سلول در منطقهٔ تحت پوشش قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین مسائلی که بیشتر وقت و هزینهٔ عمل‌گرهای شبکه‌های تلفن همراه را به خود اختصاص می‌دهد، مسئلهٔ طراحی، جایابی و بهینه‌سازی سلول‌های شبکه است که به اختصار طراحی سلول[1] نامیده می‌شود. هدف از طراحی سلول، ارائهٔ بهترین کیفیت خدمات (QoS) با بیشترین پوشش و کمترین هزینه (انرژی، تعداد سلول و تداخل) است. ورودی این مسئله، مدل تحرک‌پذیری، نحوهٔ انتشار، مکان‌های محتمل برای ایستگاه‌های پایه، مدل ایستگاه پایه و همچنین مسائل اقتصادی، سیاسی و فرهنگی است که باعث دشواری مسئله خواهند شد. عملیات طراحی سلول به سه گام تقسیم می‌شود[۱]:

- خروجی گام نخست که از آن با عنوان Pre-planning یاد می‌شود، یک تقریب حدودی از تعداد سلول‌های مورد نیاز برای یک محیط است؛
- خروجی گام دوم که Detailed Planning نامیده می‌شود، مکان دقیق ایستگاه‌های پایه در محیط است؛
- درنهایت، خروجی گام سوم که به آن Post Planning گفته می‌شود، بهینه‌سازی کارکرد سلولی است.

با بررسی اندکی می‌توان فهمید که گام‌های نخست و دوم، تنها یک بار و آن هم در زمان استقرار ایستگاه‌های پایه انجام می‌شوند، اما باید توجه شود که اصلی‌ترین و مهم‌ترین بخش، گام سوم است و عمل‌گرها باید دائم تلاش کنند تا شبکهٔ خود را بهینه کنند.

با تغییر بافت ساختمان‌ها و شهرها و همچنین اتصال مناطق بیشتر به شبکه، اطمینان از اینکه سیگنال‌ها بدون تخریب به هر نقطه‌ای می‌رسند، ضرورت می‌یابد. اینجاست که برنامه‌ریزی برای طراحی شبکه‌ها که شامل نقشه‌برداری از مناطق مختلف برای شناسایی نقاط ضعف و رسیدگی فعالانه به آن‌هاست، آغاز می‌شود؛ علاوه‌بر این، با تغییر رفتار کاربران و پیوستن کاربران بیشتر به شبکه، طراحی اولیهٔ شبکه ممکن است پاسخ‌گوی نیازهای در حال تغییر کاربران نباشد و نیازمند بهینه‌سازی باشد. با اولویت‌دادن به بهینه‌سازی، عمل‌گرهای شبکه‌های تلفن همراه با وجود تغییرات زیاد در قسمت‌های مختلف شبکه می‌توانند خدمات قابل اطمینانی به کاربران ارائه کنند.

ممکن است این پرسش مطرح شود که یک عمل‌گر، چه امکاناتی برای بهینه‌سازی دارد؟ در پاسخ باید گفت علاوه‌بر پارامترهای فیزیکی نظیر توان ارسالی و زاویهٔ آنتن‌ها، پارامترهای بسیاری در اطلاعات SIB[2] وجود دارد که عمل‌گر شبکه می‌تواند توسط آن‌ها عملیات بهینه‌سازی را انجام دهد.

درایوتست و درایوتست کمینه[3] (MDT) [۲] روش‌های رایجی هستند که در صنعت شبکه‌های تلفن همراه برای اندازه‌گیری و ارزیابی پوشش، ظرفیت و کیفیت خدمات یک شبکه استفاده می‌شوند و این مقاله بر روی درایوتست متمرکز است. درایوتست شامل استفاده از یک وسیلهٔ نقلیهٔ مجهز به دستگاه‌های تخصصی برای جمع‌آوری داده در

[1] Cell Planning

[2] System Information Block

[3] Minimal Drive Test

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]

مورد عملکرد شبکه است. این دستگاه‌ها پارامترهای مختلفی مانند توان سیگنال دریافتی، تصادم و نرخ انتقال داده را پایش می‌کنند. با انجام این کار، یک ارزیابی واقعی از عملکرد یک شبکه به‌دست می‌آید. اهمیت درایوتست در بهینه‌سازی شبکه‌های تلفن همراه را نمی‌توان نادیده گرفت؛ زیرا این روش، اطلاعات ارزشمندی در مورد مناطقی که ممکن است شبکه در آن‌ها عملکرد ضعیف یا حتی شکاف‌های پوششی داشته باشد، ارائه می‌دهد.

(شکل-۱): نمایی از یک نمونه درایوتست همراه اول در منطقهٔ مرزداران شهر تهران
(Figure-1): A view of a sample drive test of Hamrah Aval in the Marzdaran area of Tehran

درایوتست چالش‌های متعددی دارد؛ یکی از نگرانی‌های اصلی در این روش، هزینهٔ مربوط به این اندازه‌گیری‌هاست؛ زیرا این تست‌ها شامل عبور فیزیکی از نواحی مختلف شهر هستند و زمان زیادی می‌گیرند که باعث می‌شود امکان استفاده از این روش در نواحی بزرگ‌تر کمتر باشد؛ برای نمونه، درایوتست نشان‌داده‌شده در (شکل-)، متعلق به شرکت همراه اول است و حدود هشت ساعت زمان صرف شده‌است که هزینهٔ زیادی برای جمع‌آوری داده از یک بخش کوچک از یک شهر است.

علاوه‌بر خود درایوتست، یکی از پرهزینه‌ترین کارهای یک عمل‌گر، تحلیل و ارزیابی داده‌های به‌دست‌آمده است؛ درحقیقت هر عمل‌گر نیاز به تعدادی نیروی بسیار متخصص برای تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده دارد که به این دیدگاه، نگاه سنتی گفته می‌شود.

در حال حاضر، گام‌های مختلف بهینه‌سازی شبکه‌های تلفن همراه، بیشتر به‌صورت سنتی انجام می‌شود و انتظار می‌رود که در آینده امکان استفاده از شبکه‌های خودسامانده[1] به صورت گسترده‌تر فراهم شود.

[1] Self Organizing Networks

هدف این مقاله بهینه‌سازی مسیر انجام درایوتست در شبکه‌های تلفن همراه است و از ناحیه‌بندی[2]، نگاشت نقطه بر نقشه[3] و روش‌های حریصانه برای رسیدن به یک مسیر بهینه استفاده می‌شود؛ درنهایت با استفاده از رویکردهای هندسی، روشی برای ارزیابی یک مسیر ارائه شد و با کمک داده‌های واقعی درایوتست‌های پیشین، مسیر پیشنهادی خود مورد ارزیابی قرار گرفت.

ابتدا در بخش ۰، کارهای پیشینی که در این حوزه انجام شده‌است، بررسی می‌شوند. در بخش ۰، روش انجام این مقاله، در بخش ۰ ارزیابی این روش و درنهایت در بخش **Error! Reference source not found.** جمع‌بندی مقاله انجام می‌شود.

۲- پژوهش‌های پیشین

در این قسمت، ابتدا چندین مقاله که از داده‌های به‌دست‌آمده از درایوتست و درایوتست کمینه برای بهینه‌سازی شبکه‌های تلفن همراه استفاده کرده‌اند، بررسی شده‌است؛ سپس به سراغ روش‌های بهینه‌سازی خود فرایند درایوتست رفته و نخست به روش‌های پیش‌بینی داده‌های وضعیت شبکه از روی داده‌هایی که از درایوتست‌های پیشین به‌دست‌آمده پرداخته شده‌است؛ پس از آن با توجه به اینکه ایدهٔ مقاله بهینه‌سازی مسیر انجام درایوتست است و یک شکاف پژوهشی در اینجا وجود دارد، مقالات مختلفی که ایده‌های آن‌ها برای انجام این مقاله مورد مطالعه قرار خواهند گرفت، آورده شده‌است. این مقالات در بخش‌های مختلفی مانند نگاشت نقطه بر نقشه و مسیریابی دسته‌بندی شده‌اند.

۲-۱- بهینه‌سازی شبکه‌های تلفن همراه با کمک داده‌های درایوتست و درایوتست کمینه

هر شبکه‌ای باید تحت نظارت و کنترل مستمر باشد تا عملکرد مناسب آن حفظ شود و در صورت نیاز نیز بهبود یابد. مقاله‌های متعددی در مورد بهینه‌سازی وضعیت شبکه‌های تلفن همراه به‌کمک داده‌هایی که از طریق انجام درایوتست به‌دست می‌آید، نوشته شده‌است. با انجام درایوتست و جمع‌آوری داده می‌توان به اطلاعات مختلفی در شبکه‌های تلفن همراه مانند کیفیت سیگنال، عملکرد درست جابه‌جایی میان سلول‌ها، برقراری تماس و... دست یافت. عمل‌گرهای شبکه‌های تلفن همراه نیز به‌دنبال بهبود وضعیت سرویس‌دهی خود هستند تا با رفع نیازهای کاربران خود، رضایت آن‌ها را کسب کنند.

[2] Partitioning
[3] Map-Matching

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]

در [۳] با کمک درایوتست به بهبود کیفیت و پوشش شبکهٔ LTE در یکی از شهرهای استان بالی اندونزی پرداخته شده‌است. جمع‌آوری داده در اینجا با کمک ابزارهای MapInfo وTEMS انجام شد و با تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده و تغییر متغیرهای آنتن‌ها و اضافه‌کردن ایستگاه‌های جدید توانسته‌اند پارامتر RSRP[1] را به میزان ۱۰ درصد و SINR را ۲۸ درصد در شبکهٔ نسل چهار بهبود دهند. در [۴] با کمک‌گرفتن از داده‌های به‌دست‌آمده از طریق درایوتست کمینه و استفاده از روش‌های یادگیری تقویتی عمیق[2] به بهبود ظرفیت و پوشش شبکه‌های تلفن همراه پرداخته شده‌است. این مقاله رویکردی نو برای تنظیم پویای زاویه آنتن‌ها ارایه می‌کند که برای بهینه‌سازی پوشش و ظرفیت شبکه کاربرد دارد.

در این مقاله تلاش می‌شود داده‌های مورد نیاز برای بهینه‌سازی شبکه‌های تلفن همراه با هزینهٔ کمتری جمع‌آوری شود و عمل‌گرهای شبکه بتوانند با استفاده از این داده‌ها، مشکلات شبکه را شناسایی و وضعیت آن را بهبود بخشند.

۲-۲- پیش‌بینی داده‌های شبکه با کمک داده‌های درایوتست

مشکلی که وجود دارد این است که پس از انجام یک بار درایوتست؛ به‌عنوان مثال برای انجام بهینه‌سازی زاویهٔ آنتن، روش دقیق و خاصی وجود ندارد که از آن پیروی شود؛ بلکه درایوتست باید به‌صورت پیاپی انجام شود و مهندسان بر اساس مشاهده و تحلیل این داده‌ها و تجربهٔ خود در این کار تشخیص دهند که چه اقدامی در جهت تغییر زاویهٔ آنتن صورت دهند. انجام پی‌درپی درایوتست، هزینهٔ زیادی برای اپراتورها به همراه دارد. یکی از راه‌های کمترکردن هزینه‌های درایوتست در بهینه‌سازی شبکه‌های تلفن همراه این است که به مدلی از وضعیت محیط دست یافت و بدون انجام درایوتست‌های مجدد بتوان وضعیت شبکه را در نقاط مختلف پیش‌بینی کرد.

Thrane و همکاران در [۵] ، تلاش کرده‌اند تا انجام درایوتست برای جمع‌آوری داده از وضعیت شبکه به حداقل برسد. در این روش با ترکیب یک شبکهٔ عصبی ساده با یک شبکهٔ عصبی پیچشی، مدلی توسعه داده شد که برای آموزش آن داده‌های جمع‌آوری‌شده از درایوتست و همچنین تصاویر ماهواره‌ای برای استنباط ازدست‌رفتن سیگنال به‌خاطر موانع مختلف استفاده شده‌است؛ به‌کمک این روش توانسته‌اند نیاز به انجام درایوتست‌های سنتی را کاهش دهند. نویسندگان مقالهٔ [۶] تلاش کرده‌اند تا روش نویی برای کاهش هزینهٔ درایوتست در شبکه‌های تلفن همراه به کمک یک مدل مولد عمیق ارائه کنند؛ در این روش با تولید داده‌های عملکردی شبکه به‌صورت سری زمانی، نیاز به انجام درایوتست در یک مسیر کاهش یافته‌است. *Fauzi* و همکاران نیز در [۷]، به‌کمک مدل‌های یادگیری ماشین، روشی برای تخمین پوشش شبکه معرفی کرده‌اند؛ در این روش یک مدل جنگل تصادفی به‌کمک داده‌های درایوتست آموزش داده شده‌است که عملکرد شبکه‌های تلفن همراه را با دقت پیش‌بینی می‌کند و نسبت به روش‌های سنتی و تجربی قدیمی بهبود چشمگیری را نشان می‌دهد.

در مقاله‌هایی که در این قسمت بررسی شد، پژوهش‌گران به دنبال این بوده‌اند که با پیش‌بینی وضعیت شبکه در نقاط جغرافیایی مختلف، داده‌هایی که از طریق انجام درایوتست به‌دست می‌آید را پیش‌بینی کنند. تفاوتی که این روش‌ها با روش پیشنهادی در این مقاله دارد در این است که روش پیشنهادی مقاله به دنبال پیش‌بینی این داده‌ها نیست و کوشش شده‌است هزینهٔ دست‌یابی به داده‌هایی که از درایوتست واقعی به‌دست می‌آید و دقیق است کاهش یابد.

۲-۳-نگاشت نقطه بر نقشه

سامانه‌های موقعیت‌یاب به‌دلیل اینکه به صورت ذاتی نادقیق‌اند، نیازمند یک سری مراحل پیش‌پردازش برای اصلاح خطاهای مسیر هستند؛ یکی از مهم‌ترین روش‌های پیش‌پردازش، الگوریتم نگاشت نقطه بر نقشه است که مسیر حرکت اجسام را با کمک انطباق داده‌های موقعیت‌یاب جسم با جادهٔ اصلی پیدا می‌کند؛ این روش، پیش‌نیاز بسیاری از برنامه‌های مبتنی بر مکان مانند مسیریابی، ردیابی خودرو، به‌روزرسانی نقشه و نظارت بر ترافیک است. کارهای پیشینی که تاکنون بر روی بهینه‌سازی عملیات درایوتست در شبکه‌های تلفن همراه انجام شده‌است، تمرکزی بر بهینه‌سازی مسیر این عملیات نداشته‌اند و از روش‌های نگاشت نقطه بر نقشه نیز بهره‌برداری نکرده‌اند. با توجه به اینکه در روش پیشنهادی در این مقاله از مفهوم نگاشت نقطه بر نقشه استفاده شده است، بررسی مختصری بر روی مقالات این حوزه انجام شده‌است. در [۸] مدل‌های موجود نگاشت نقطه بر نقشه در چهار دسته طبقه‌بندی شده‌اند: مدل شباهت، مدل انتقال حالت، مدل تکامل نامزد و مدل امتیازدهی. مهم‌ترین دسته، مدل‌های انتقال حالت‌اند که در [۹] یکی از جدیدترین روش‌هایی که از مدل‌های پنهان مارکوف استفاده می‌کند، معرفی شده‌است.

[1] Reference Signal Received Power
[2] Deep Reinforcement Learning

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]

۲-۴-مسیریابی

مسائل مسیریابی به‌عنوان مسائلی پر چالش و عملی، مطرح‌اند؛ همان‌طورکه پیش‌تر نیز گفته شد، کارهای پیشینی که تاکنون بر روی بهینه‌سازی عملیات درایوتست در شبکه‌های تلفن همراه انجام شده‌است، تمرکزی بر بهینه‌سازی مسیر این عملیات نداشته‌اند. با توجه به اینکه برای رسیدن به روش پیشنهادی در این مقاله، مسائل مسیریابی نیز بررسی شدند، در اینجا نیز به‌صورت کوتاه مروری بر این مسائل انجام شده‌است. این مسائل، انواع مختلفی دارند که هر یک، ویژگی‌ها و کاربردهای منحصربه‌فرد خود را دارند. دسته‌بندی کلی مسائل مسیریابی عبارت‌اند از: مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد (TSP[1])، مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه (VRP[2]) و مسئلهٔ مسیریابی کمان (ARP[3]).

در مسئلهٔ TSP، یک فروشنده که باید به تعدادی شهر مختلف سر بزند، مسیری را پیدا کند که در آن از تمامی شهرها تنها یک بار گذر کرده و درنهایت به شهر مبدأ بازگردد؛ به طوری که کل مسافت طی‌شده کمینه شود. سناریوهای واقعی برای پیمایش تعدادی از نقاط مانند برنامه‌ریزی مسیر فروش و بازرسی‌های شهری در واقع به حل یک TSP یا انواع آن مربوط می‌شوند [۱۰]؛ از سوی دیگر، VRP از اضافه‌کردن مجموعه‌ای از وسایل نقلیه و محدودیت‌های دیگر به TSP به‌دست آمده‌است و مسائلی با پیچیدگی بیشتر را به وجود آورد [۱۱]. در [۱۲] یک الگوریتم فراابتکاری برای حل این مسئله ارائه شده‌است؛ درنهایت ARP در جاهایی مانند تحویل نامه و روزنامه توسط یک اپراتور و همچنین برف‌روبی به میان می‌آید که پیمایش خیابان‌ها و مسیرهای خاص مدنظر است. در [۱۳]، مسئلهٔ جمع‌آوری زباله‌های شهری به کمک این روش بررسی شده‌است.

۳- روش پیشنهادی

در این مقاله روشی برای بهینه‌سازی مسیر انجام درایوتست ارائه می‌شود. نخست در ۰، مدل سامانه و فرضیات مسئله مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ سپس در ۰، در چهار گام به بیان روش پیشنهادی پرداخته می‌شود.

۳-۱-مدل سامانه و فرضیات

هدف این مقاله بهینه‌سازی مسیر انجام درایوتست در شبکه‌های تلفن همراه است که این فرایند باید پیش از انجام درایوتست انجام شود؛ برای انجام این کار، یک بخش مستطیلی از نقشه را درنظر گرفته و مسیر پیشنهادی برای انجام درایوتست در این بخش پیدا می‌شود. در ادامه، فرضیات زیر مطرح است:

- بخش مورد بررسی از نقشه، یک محیط شهری با تراکم متوسط و بالا نظیر تهران فرض می‌شود؛ بدین‌سان، این بخش مستطیلی با ابعاد $W \times H$ در نظر گرفته می‌شود که قرار است تحت پوشش درایوتست قرار گیرد.
- فرض می‌شود که شبکهٔ مورد نظر یک شبکهٔ نسل چهار است. بدیهی است که روش پیشنهادی، به راحتی قابل تعمیم به دیگر نسل‌ها خواهد بود.
- درنظر گرفته می‌شود که شبکه، محیط مورد نظر را با L ایستگاه پایه پوشش می‌دهد. فرض بر این است که مکان و پیکربندی آن‌ها نیز پیش از درایوتست در اختیار نویسندگان مقاله است.
- در این مقاله، تنها پارامتر RSRP به‌عنوان هدف درایوتست درنظر گرفته می‌شود و نقاطی که دارای RSRPکمتر از 100 dBm- هستند از نظر سیگنال دریافتی، ضعیف و نامناسب است. این کار قابل توسعه به سایر پارامترها نظیر RSRQ[4] خواهد بود.
- ابزار اندازه‌گیری مورد استفاده، یک UE متحرک با سرعت زیر چهل کیلومتر در ساعت است.

(جدول-۱): فهرست نمادها
(Table-1): Symbols

نماد	توضیحات
$W \times H$	ابعاد بخش مستطیلی از نقشه
K	تعداد ناحیه‌های مستطیلی کوچک
N	تعداد کل نقاط بحرانی انتخاب‌شده برای درایوتست
M	حداکثر تعداد نقاط بحرانی انتخاب‌شده در هر ناحیه
B^i	مجموعهٔ ایستگاه‌های پایهٔ ناحیهٔ i-ام
P^i	مجموعهٔ نقاط بحرانی ناحیهٔ i-ام
$C(i, d_i)$	دایره‌ای به مرکز نقطهٔ مرکزی ناحیهٔ i-ام و شعاع d_i به اندازهٔ قطر این ناحیه
O^i	اجتماع ایستگاه‌های پایه و نقاط بحرانی ناحیهٔ i-ام و ایستگاه‌های پایه و نقاط بحرانی ناحیه‌های همسایهٔ واقع در دایرهٔ $C(i, 0.7d_i)$
(lat, lon)	مختصات نقطه‌ای در دستگاه مختصات جغرافیایی
lat^i_{min}	حداقل عرض جغرافیایی نقاط ناحیهٔ i-ام
lon^i_{min}	حداکثر طول جغرافیایی نقاط ناحیهٔ i-ام

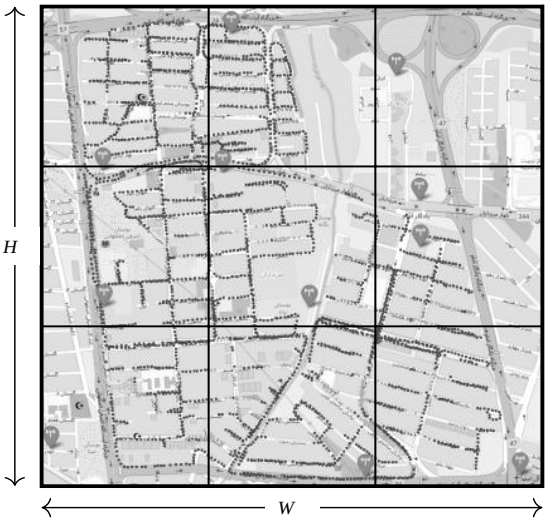
[1] Travelling Salesman Problem
[2] Arc Routing Problem
[3] Vehicle routing problem

[4] Reference Signal Received Quality

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]

۳-۲-تشریح روش پیشنهادی

روش پیشنهادی پژوهش حاضر از چهار گام تشکیل شده‌است. در گام ابتدایی، یک بخش مستطیلی از نقشه انتخاب و به K ناحیه‌های مستطیلی کوچک‌تر تقسیم می‌شود. در گام دوم، در هر ناحیهٔ کوچک مستطیلی $|P^i|$ نقطهٔ بحرانی که تصور می‌شود باید در درایوتست بررسی شوند مشخص می‌شود. این نقاط ممکن است روی خیابان‌ها و معابر نباشند؛ به همین منظور در گام بعدی با بهره‌مندی از



روش نگاشت نقطه بر نقشه (Map-Matching)، نقاط انتخاب‌شده بر روی خیابان‌ها منطبق می‌شود. در گام آخر نیز، الگوریتمی برای یافتن مسیر بهینه جهت پیمایش این نقاط پیشنهاد داده می‌شود.

(شکل-۲): تقسیم یک بخش مستطیلی از نقشه به نواحی کوچکتر
(Figure-2): Partition a rectangular section of the map into smaller regions.

۳-۲-۱-ناحیه‌بندی

برای انجام درایو تست، بخش مستطیلی از نقشه مانند (شکل-(۲) که ابعاد آن $W \times H$ است، درنظر است. منظور از این بخش، تمام بخش‌های نقشهٔ مورد نظر است که روی آن کار می‌شود و به K ناحیهٔ مستطیلی کوچک‌تر با ابعاد یکسان تقسیم می‌شود. مقدار K، قابل تنظیم و جزو پارامترهای روش پیشنهادی ما است.

با فرض این که در هر یک از این K ناحیه، تعداد $|B^i|$ ایستگاه پایه وجود داشته باشد؛ ایستگاه‌های پایه در ناحیهٔ i-ام به‌صورت مجموعهٔ زیر نشان داده می‌شوند:

$$B^i = \{b_j \mid 1 \le j \le |B^i|\}, \qquad 1 \le i \le K. \qquad (۱)$$

۳-۲-۲-انتخاب نقاط

با یافتن $|P^i|$ نقطه در ناحیهٔ i-ام مد نظر است که ماشین درایو تست، تمام این نقاط را مشاهده کند. (lat, lon)، مختصات یک نقطه در دستگاه مختصات جغرافیایی در نظر گرفته می‌شود. اکنون می‌توان نقاطی را که در ناحیهٔ i-ام برای پوشش در درایوتست به‌دست آمده‌اند، به‌صورت زیر نشان داد:

(۲)

$$\mathbf{P}^i = \left\{ (\mathrm{lat}_j, \mathrm{lon}_j) \begin{array}{c} \mathrm{lat}^i_{\min} \le \mathrm{lat}_j \le \mathrm{lat}^i_{\max}, \\ |\mathrm{lon}^i_{\min} \le \mathrm{lon}_j \le \mathrm{lon}^i_{\max}, \\ 1 \le j \le |\mathbf{P}^i| \end{array} \right\}, 1 \le i \le K.$$

همچنین طبق فرضیات مطرح‌شده در ۰، و با دانستن مکان آنتن‌ها، هدف درایوتست پارامتر RSRP در نظر است و احتمال می‌رود این پارامتر در نقاطی که از ایستگاه‌های پایه دورند، وضعیت نامناسبی داشته باشد و در ناحیه‌هایی که ایستگاه‌های پایهٔ کم‌تری دارند، نیاز بیش‌تری به انجام درایوتست وجود دارد؛ همچنین مد نظر نیست نقاطی که به‌عنوان نقاط بحرانی برای درایوتست انتخاب شده‌اند نیز در نزدیکی یکدیگر قرار گرفته باشند؛ پس $|P^i|$ بر اساس تراکم ایستگاه‌های پایه در ناحیهٔ i-ام، به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$|P^i| = \begin{cases} \mathrm{M} - |\boldsymbol{B}^i|, & \text{if } |\boldsymbol{B}^i| < M. \\ 1, & \text{otherwise.} \end{cases} \qquad (۳)$$

M یکی از پارامترهای مسئلهٔ پژوهش حاضر است و اگر $|B^i|$ کمتر از مقدار این پارامتر باشد، تا زمانی که تعداد ایستگاه‌های پایه و نقاط بحرانی موجود در ناحیهٔ i-ام به M برسد، یافتن نقاط ادامه خواهد داشت؛ همچنین در صورتی که $|B^i|$ بیش از مقدار این پارامتر باشد، تنها یک نقطه برای انجام درایوتست انتخاب خواهد شد.

در الگوریتم پیشنهادی به منظور یافتن نقاط بهینه برای درایوتست، نقاطی در ناحیهٔ i-ام انتخاب می‌شود که از مجموعهٔ O^i دورتر قرار گیرند. این مجموعه، اجتماع ایستگاه‌های پایه و نقاط بحرانی ناحیهٔ i-ام و همچنین ایستگاه‌های پایه و نقاط بحرانی ناحیه‌های همسایهٔ آن است که در دایر $C(i,, 0.7d_i)$ به مرکز نقطهٔ مرکزی این ناحیه و شعاعی به اندازهٔ ۰.۷ قطر این ناحیهٔ مستطیلی است. ضریب ۰.۷ به‌صورت تجربی انتخاب شده و می‌تواند به‌عنوان پارامتری از این مسئله باشد و به‌صورت پویا انتخاب شود.

(۴)

$$O^i = B^i \cup P^i \cup \left(\bigcup_{j \in \mathrm{Neighbor}(i)} (B^j \cup P^j) \cap C(i,, 0.7d_i) \right)$$

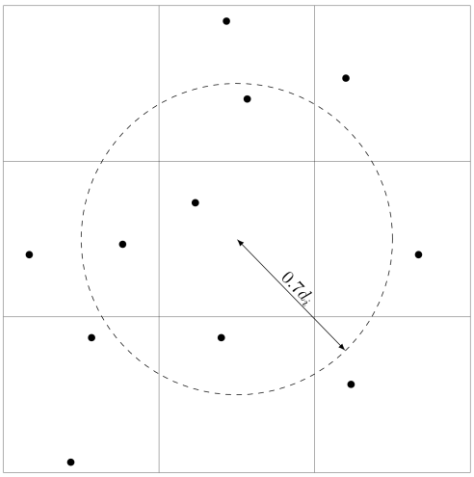
در معادلهٔ بالا، Neighbor(i)، نواحی همسایه ناحیهٔ i-ام هستند؛ بدین ترتیب، با استفاده از این تعریف، نقاط جدیدی که برای درایوتست انتخاب می‌شوند از تمامی ایستگاه‌های پایه و نقاط یافت‌شدهٔ گذشته در ناحیهٔ خود و نواحی همسایه که در دایرهٔ یادشده قرار دارند، دورتر خواهند بود. این رویکرد تلاش می‌کند که نقاط بحرانی جدید در موقعیت‌هایی قرار گیرند که

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]

داده‌های جدید و مفیدی برای تحلیل کیفیت شبکه فراهم آورند و از هم پوشانی داده‌های مشابه جلوگیری شود.

الگوریتمی که برای پیداکردن دورترین نقاط استفاده می‌شود، الگوریتمی الهام‌گرفته از Maximin است [۱۴]. در پژوهش حاضر بیشینه‌کردن فاصلهٔ یک نقطهٔ جدید در ناحیهٔ i-ام نسبت به نزدیک‌ترین نقطهٔ مجموعهٔ O^i مدنظر است.

الگوریتم پژوهش برای پیداکردن دورترین نقطه، با استفاده از جست‌وجوی توری[1] انجام می‌شود. به منظور کوچک‌کردن فضای این جست‌وجو، از گسسته‌سازی بهره گرفته شد؛ یعنی جست‌وجو بر روی تمام نقاط این ناحیه با ریزدانگی[2] پنجاه متر بر روی نقشه انجام می‌شود تا بهترین نقطه برای اضافه‌شدن به مجموعهٔ P^i پیدا شود.



(شکل-۱): نمایش ناحیهٔ i-ام که در مرکز بخش مستطیلی از نقشه قرار دارد. برای الگوریتم پیشنهادی جهت یافتن نقاط بهینه برای درایوتست، ایستگاه‌های پایه و نقاط یافت‌شده پیشین که در دایره‌ای به مرکز نقطهٔ مرکزی این ناحیه و شعاع $0.7d_i$ قرار می‌گیرند به رنگ سیاه نمایش داده شده‌اند.

(Figure-3): Display the i-th region located at the center of the rectangular section of the map. The proposed algorithm to find optimal points for the drive test and base stations, as well as previously found points that fall within a circle centered at the central point of this region with a radius of 0.7, is shown in black.

تابع هدف الگوریتم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\max \min_{o_j \in O^i} d_{j,t} \qquad (۵)$$

که در آن، نقطهٔ $o_j = (\mathrm{lat}_j, \mathrm{lon}_j)$، نقطه‌ای از مجموعهٔ O^i است و t به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۶)

$$t = \left\{ (\mathrm{lat}_t, \mathrm{lon}_t) \;\middle|\; \begin{array}{l} \mathrm{lat}^i_{\min} \le \mathrm{lat}_t \le \mathrm{lat}^i_{\max}, \\ \mathrm{lon}^i_{\min} \le \mathrm{lon}_t \le \mathrm{lon}^i_{\max}, \\ \mathrm{lat}_t = \mathrm{lat}^i_{\min} + q \cdot \left(\frac{50}{111{,}000}\right), \\ \mathrm{lon}_t = \mathrm{lon}^i_{\min} + l \cdot \left(\frac{50}{111{,}000}\right), \\ q, l \in \mathbb{Z} \end{array} \right\}, 1 \le i \le K$$

[1] Grid Search
[2] Granularity

در این فرمول، q و l اعداد صحیح هستند که تضمین می‌کنند نقاط t با فاصلهٔ پنجاه متری درون ناحیهٔ i-ام قرار گیرند. توجه شود که عدد ۰۰۰،۱۱۱ نشان‌دهندهٔ متوسط طول یک درجهٔ جغرافیایی (عرض و طول) بر روی کرهٔ زمین به متر، تقریباً برابر ۱۱۱ کیلومتر است. $d_{j,t}$ بیان‌کنندهٔ فاصلهٔ Haversine بین نقطه $o_j \in O^i$ تا نقطهٔ t درون ناحیهٔ i-ام است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۷)

$$d_{j,t} = 2r.\sin^{-1}\sqrt{\sin^2\left(\frac{lat_j - lat_t}{2}\right) + \cos(lat_j)\cos(lat_t)\sin^{-1}\left(\frac{lon_j - lon_t}{2}\right)}$$

روشی که بیان شد، در جایی که در مجموعهٔ O^i، عضوی وجود نداشته باشد، امکان اجرا ندارد؛ در این شرایط، یک نقطهٔ اولیه برای انجام درایوتست در مرکز این ناحیه درنظر گرفته و به P^i اضافه می‌شود؛ سپس می‌توان الگوریتم ارائه‌شده را در این حالت اجرا کرد.

۳-۲-۳-نگاشت نقطه بر نقشه

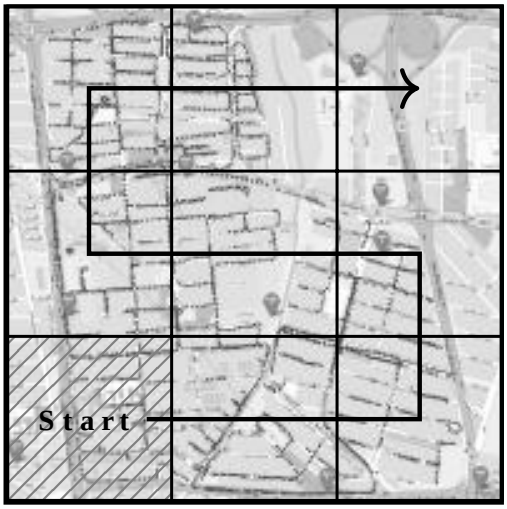
$N = \sum_{i=1}^{K} |P^i|$ نقطه‌ای که در گام پیش به‌دست آمدند، همیشه منطبق بر جاده‌ها و خیابان‌های موجود در نقشه نیستند؛ به منظور پیمایش بهتر نیاز است که این نقاط با استفاده از روش‌های نگاشت نقطه بر نقشه، به نقاط واقع در خیابان‌ها منطبق شوند.

همان‌طور که در ۰ بررسی شده‌است، نگاشت نقطه بر نقشه، مسئله‌ای قدیمی است و روش‌های گوناگونی برای حل آن وجود دارد؛ یکی از مهم‌ترین استفاده‌های نگاشت نقطه بر نقشه در مسیریاب‌هاست که کمک می‌کند تا نقاط خام را به جاده‌ها و خیابان‌ها منطبق کنند. در این مقاله، از API مسیریاب ایرانی نشان برای انجام نگاشت نقطه بر نقشه استفاده شده‌است [۱۵].

۳-۲-۴-یافتن مسیر بهینه

در گام آخر، یک مسیر برای انجام درایوتست پیشنهاد می‌شود که نقاط به‌دست‌آمده از گام‌های پیشین را پوشش دهد؛ برای پیداکردن مسیر، ابتدا با یک روش حریصانه (Greedy)مشخص می‌شود که با چه ترتیبی باید نقاط مختلف پیمایش شوند و به نوعی مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد (TSP)حل شود. باید N نقطهٔ نگاشت‌شده بر روی نقشه در K ناحیهٔ مستطیلی کوچک، پیمایش شود؛ بدین منظور مسئله پژوهش می‌تواند به صورت یک مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد (TSP)تعریف شود. ماشین درایوتست باید تمامی این N نقطه را بپیماید؛ به طوری که مسافت پیموده‌شده کمینه شود؛ یعنی هدف این است که جای‌گشتی از این نقاط پیدا شود که کل مسافت طی شده را کمینه کند.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]



(شکل-۴): مسیر انتخاب نقاط بحرانی از ناحیه‌های مختلف که از ناحیهٔ گوشهٔ پایین سمت چپ آغاز شده‌است و به صورت مارپیچی و ردیف به ردیف ادامه پیدا می‌کند.

(Figure-4): The path of selecting critical points from different regions, starting from the bottom-left corner area and continuing in a spiral row by row.

مسئلهٔ TSP به‌دلیل بزرگ‌بودن فضای جست‌وجو، یک مسئلهٔ NP-Hard است؛ به این معنی که یافتن راه حلی دقیق در زمان معقول برای تعداد زیادی از نقاط کمابیش غیرممکن است و نیازمند استفاده از روش‌های تقریبی است؛ روشی که برای حل این مسئله درنظر گرفته شد؛ همان طور که در (الگوریتم-) نیز توضیح داده شد؛ به این صورت است که از ناحیه‌ای که در گوشهٔ چپ و پایین بخش مستطیلی نقشه قرار گرفته‌است شروع می‌شود. برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه شروع درایوتست از کدام ناحیه آغاز شود، باید به این توجه شود که ورود ماشین درایوتست به این بخش از نقشه، از ناحیه‌های مرزی صورت می‌گیرد. یک نقطهٔ بحرانی در این ناحیه به صورت تصادفی به‌عنوان مبدأ انتخاب شده و از بین سایر نقاط بحرانی موجود در این ناحیه که هنوز پیمایش نشده‌اند نزدیک‌ترین نقطه شناسایی می‌شود تا به‌عنوان نقطهٔ مقصد انتخاب شود.

همین فرایند برای پیداکردن مقصد بعدی در این ناحیه دنبال می‌شود تا همهٔ نقاط بحرانی پوشش داده شوند؛ سپس در ناحیهٔ بعدی ترتیب پیمایش نقاط مشخص می‌شوند. در انتخاب نخستین نقطه از ناحیهٔ جدید، نزدیک‌ترین آن‌ها به آخرین مقصد از ناحیهٔ پیشین درنظر گرفته می‌شود. ترتیب ورود به ناحیه‌های مستطیلی مختلف به صورت مارپیچی و ردیف به ردیف خواهد بود. در

(شکل-) مشخص شده‌است که مسیر از کدام ناحیه آغاز شده و چه مسیری را طی می‌کند. با شروع از یک ناحیهٔ مرزی که در گوشهٔ این بخش از نقشه قرار دارد و با حرکت مارپیچی می‌توان با یک بار عبور از هر ناحیه، تمامی ناحیه‌ها را پیمایش کرد.

این فرایند را تا زمانی که تمامی نقاط از تمامی ناحیه‌ها پوشش داده شوند ادامه می‌یابد. این روش تضمین می‌کند که تمامی نقاط در تمامی ناحیه‌های مستطیلی پیمایش شوند.

مزیت استفاده از این روش حریصانه در این است پیچیدگی زمانی کمی دارد و با کاهش هزینهٔ محاسباتی، راه‌حلی تقریبی برای مسئلهٔ TSP ارائه می‌کند؛ در حالی که این روش تضمینی برای پیداکردن راه حل بهینه ندارد، اما به‌دلیل سادگی و سرعت در اجرا می‌تواند نتایج قابل قبولی در زمان کوتاه‌تری به‌دست آورد؛ در نهایت، با استفاده از این روش، ترتیب پیمایش نقاط به‌دست می‌آید و مسیر نهایی به‌عنوان خروجی این گام برای انجام درایوتست پیشنهاد داده می‌شود. برای مشخص‌کردن مسیر حرکت برای رسیدن از یک مبدأ به مقصد دیگر، از API مسیریاب ایرانی نشان استفاده شده‌است [۱۶].

۴- ارزیابی روش پیشنهادی

برای ارزیابی رهیافت پیشنهادی، از داده‌های واقعی استفاده شد؛ بدین صورت که نخست، یک درایوتست کامل در منطقهٔ مرزداران در شهر تهران انجام شد. این درایوتست با دستگاه Capella محصول شرکت دانش‌بنیان پرتو ارتباط صبا[1]، انجام پذیرفته‌است. پر واضح است که در این درایوتست مشخص است که برای پوشش تمامی خیابان‌ها و معابر این منطقه، باید چه میزان مسافت طی شود و در نقاط مختلف، وضعیت سیگنال به چه صورت است و چه نقاطی RSRP نامناسب داشته‌اند؛ بدین‌سان، دو معیار برای ارزیابی روش پیشنهادی ارائه شد:

(الگوریتم-۱): حل تقریبی مسئلهٔ TSP

(Algorithm-1): Approximate Solution for the TSP problem

Input: N Critical points, K partitions.
Output: Approximate TSP solution.

```
Initialize curPart ← bottom-left partition
Initialize curPoint ← a random point in curPart
Mark curPoint as visited
repeat
    while unvisited points in curPart do
        Find nearest point nextPoint to curPoint
        Mark nextPoint as visited
        curPoint ← nextPoint
    end while
    if unvisited partitions remain then
        Move to next partition (spiral/row-by-row)
        curPart ← next partition
        Find nearest point in curPart to curPoint
        curPoint ← this nearest point
        Mark curPoint as visited
    end if
until all points visited
```

[1] pesaba.com

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]

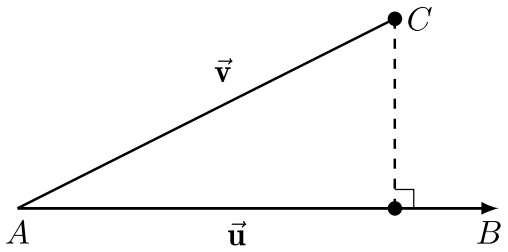
مسافت پیموده شده: این معیار بیان می‌دارد که در روش پیشنهادی، چه میزان مسافت پیموده شده‌است و این مسافت چه مقدار نسبت به درایوتست کامل کوتاه‌تر است؛ به بیان دیگر، مسافت پیموده‌شده در درایوتست کامل مرزداران، برابر ۵۳ کیلومتر است. نویسندگان مقاله نیز در تلاش‌اند تا این مسافت را با مسافت مسیر پیشنهادی خود مقایسه کنند.

پوشش نقاط با توان دریافتی پایین: دیگر اینکه مسیر پیشنهادی، چه میزان در یافتن نقاطی که RSRP نامناسب داشتند و باید از طریق انجام درایوتست کامل کشف می‌شدند، موفق بوده‌است.

در ادامه، نخست در ۰ سعی شده‌است تا معیار پوشش نقاط با توان دریافتی پایین دقیق‌تر بیان شود؛ سپس در ۰ به شرح آزمایش‌هایی که با پارامترهای مختلف مسئله انجام شده‌است پرداخته می‌شود و نتایج به‌دست‌آمده با کمک معیارهای معرفی‌شده مقایسه خواهند شد.

۴-۱-معیار پوشش نقاط با توان دریافتی پایین

همان طور که گفته شد داده‌های درایوتست در این منطقه موجود است؛ بنابراین نویسندگان می‌دانند که اکنون باید بررسی کنند که مسیر پیشنهادی، چه مسافتی از این نقاط را پوشش می‌دهد و برای به‌دست‌آوردن این مقدار باید بررسی کنند که در درایوتست با مسیر پیشنهادی، از چه مسافتی از نقاطی که در درایوتست کامل اندازه‌گیری شده‌اند، عبور می‌شود. این شعاع در ارزیابی پنجاه متر درنظر گرفته می‌شود؛ به این معنی که اگر فاصلهٔ مسیر از یک نقطه از داده‌های درایوتست، کمتر از پنجاه متر باشد، این نقطه پوشش داده‌شده درنظر گرفته می‌شود. اندازهٔ پنجاه متر به صورت تجربی و از طریق درایوتست‌های واقعی به‌دست آمده‌است.



(شکل-۲): تصویرکردن یک نقطه C بر روی یک خط در فضا
(Figure-5): Projecting a point C onto a line in space.

برای پیداکردن فاصلهٔ هر نقطه از نقشه از مسیر پیشنهادی در درایوتست، از یک روش هندسی استفاده می‌شود که از تصویرکردن[1] نقاط بر روی یک خط در فضا بهره می‌گیرد؛ به این صورت که مسیر پیشنهادی به‌عنوان یک دنباله از قطعات[2] خطی متصل درنظر گرفته می‌شود و فاصلهٔ یک نقطه در نقشه را نسبت به این قطعات پیدا کرده و نزدیک‌ترین فاصله به‌عنوان فاصلهٔ این نقطه از مسیر منظور می‌شود.

برای توضیح بهتر نحوهٔ پیداکردن فاصلهٔ یک نقطه نسبت به یک قطعه از مسیر، سه نقطهٔ A و B و C تعریف شده‌است. نقاط A و B به ترتیب نقاط شروع و پایان یک قطعه از مسیرند؛ همچنین C نقطه‌ای از نقشه است که لازم است فاصلهٔ آن نسبت به این قطعه از مسیر پیدا شود و باید بر روی این قطعه، تصویر شود. هر نقطه شامل طول و عرض جغرافیایی است:

$$A(\mathrm{lat}_A, \mathrm{lon}_A),\ B(\mathrm{lat}_B, \mathrm{lon}_B),\ C(\mathrm{lat}_C, \mathrm{lon}_C)$$

برای پیاده‌سازی این روش و پیداکردن فاصلهٔ یک نقطه نسبت به یک قطعه و تصویرکردن آن نقطه بر روی آن قطعه

)، باید حاصلضرب داخلی[3] برداری از ابتدا تا انتهای قطعه را با برداری از ابتدای قطعه تا نقطهٔ مورد نظر روی نقشه محاسبه کرد که کمک می‌کند تا تعیین شود که نزدیک‌ترین نقطه در چه فاصله‌ای از ابتدای قطعه قرار دارد. با نرمال‌کردن حاصل‌ضرب داخلی نسبت به طول قطعه مشخص می‌شود که آیا نزدیک‌ترین نقطه روی خود این قطعه است یا خارج از آن قرار می‌گیرد؛ اگر مقدار پارامتر بین صفر و یک باشد، نزدیکترین نقطه روی قطعه قرار دارد؛ در غیر این صورت در خارج از قطعه قرار دارد و یکی از نقاط انتهایی قطعه، نزدیک‌ترین مکان از این قطعه به نقطهٔ مدنظر در نقشه است. با تکرار این محاسبات برای تمامی قطعات، نزدیک‌ترین نقطه از مسیر نسبت به نقطهٔ معین در نقشه شناسایی می‌شود.

برداری که از ابتدای این قطعه به انتهای آن می‌رود ($\vec{u}$) به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\boldsymbol{u} = (u_x, u_y) \tag{۸}$$

$$u_x = (\mathrm{lon}_B - \mathrm{lon}_A)\cos\left(\frac{\mathrm{lat}_A + \mathrm{lat}_B}{2}\right) \tag{۹}$$

$$u_y = \mathrm{lat}_B - \mathrm{lat}_A. \tag{۱۰}$$

برداری که از ابتدای قطعه به نقطهٔ مورد نظر در نقشه می‌رود ($\vec{v}$) نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

[1] Projection
[2] Segments
[3] Dot Product

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]

$$\boldsymbol{v} = (v_x, v_y) \quad (۱۱)$$

$$v_x = (\mathrm{lon}_C - \mathrm{lon}_A)\cos\left(\frac{\mathrm{lat}_A + \mathrm{lat}_C}{2}\right) \quad (۱۲)$$

$$v_y = \mathrm{lat}_C - \mathrm{lat}_A. \quad (۱۳)$$

اکنون برای محاسبهٔ ضرب داخلی این دو بردار $\boldsymbol{u}$ و $\boldsymbol{v}$ به صورت زیر عمل می‌شود:

$$u \cdot v = u_x \cdot v_x + u_y \cdot v_y \quad (۱۴)$$

و طول بردار $\boldsymbol{u}$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$|u|^2 = u_x^2 + u_y^2. \quad (۱۵)$$

درنهایت می‌توان پارامتر تصویرکردن (t) را به صورت زیر به‌دست آورد:

$$t = \frac{u \cdot v}{|u|^2} \quad (۱۶)$$

بر اساس مقدار پارامتر t ، نزدیک‌ترین نقطه از این قطعه نسبت به نقطهٔ مورد نظر ما در نقشهٔ (C)، مشخص می‌شود:

$$X = \begin{cases} A, & \text{if } t \le 0 \\ B, & \text{if } t \ge 1 \\ A + tu, & \text{if } 0 < t < 1 \end{cases} \quad (۱۷)$$

معادلهٔ بالا نشان می‌دهد که اگر تصویر نقطهٔ C بر روی امتداد قطعهٔ مورد نظر افتاد، در سمت نقطهٔ A یا نقطهٔ B قرار می‌گیرد؛ همچنین در صورتی که تصویر این نقطه روی خود قطعه می‌افتد، به طور دقیق در کجا قرار می‌گیرد. مختصات این نقطه که با X نشان داده شده‌است، به صورت زیر در مختصات جغرافیایی قرار می‌گیرد که نقطه‌ای از خود قطعه است:

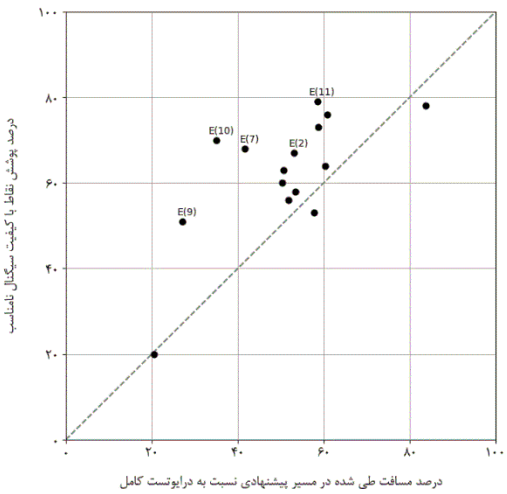
(۱۸)

$$X(\mathrm{lat}_X, \mathrm{lon}_X) = \begin{cases} (\mathrm{lat}_A, \mathrm{lon}_A), & \text{if } t \le 0 \\ (\mathrm{lat}_B, \mathrm{lon}_B), & \text{if } t \ge 1 \\ (\mathrm{lat}_A + tu_y, \mathrm{lon}_B + tu_x), & \text{if } 0 < t < 1 \end{cases}$$

۲-۴-بررسی نتایج

K، تعداد ناحیه‌های مستطیلی کوچک و M، بیشترین تعداد نقاط بحرانی انتخاب‌شده در هر ناحیه است. با تغییر این پارامترها، آزمایش‌های مختلفی برای بررسی مسیر پیشنهادی انجام‌شده که در (جدول-۲) نتایج آزمایش‌های مختلف، قابل مشاهده است. در این جدول، میزان مسافت لازم برای انجام هر آزمایش و همچنین میزان موفقیت هر کدام در یافتن نقاطی که که RSRP کمتر از -100 dBm داشته‌اند، نمایش داده شده‌است. برای انتخاب برترین آزمایش، معیار F به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F = \frac{\text{درصد مسافت طی‌شده در مسیر پیشنهادی نسبت به درایوتست کامل}}{\text{درصد پوشش نقاط با کیفیت سیگنال نامناسب}} \quad (۱۹)$$



(شکل-۶): رابطهٔ بین مسافت پیمایش‌شده و پوشش نقاط با کیفیت سیگنال نامناسب

(Figure-6): The relationship between the traversed distance and the coverage of points with poor signal quality

هر چه این مقدار برای یک آزمایش بیشتر باشد، می‌توان گفت که به ازای پیمایش مسافت کمتری، داده‌های سودمند بیشتری از پیمایش مسیر پیشنهادی به‌دست آمده‌است.

(جدول-۲): نتایج آزمایش‌ها

(Table-2): Experiments

آزمایش	مسافت (کیلومتر)	درصد یافتن نقاط	K	M
۱	۱۰.۸۹	۲۰٪	۱	۲۰
۲	۲۸.۰۹	٪۶۷	۲	۲۰
۳	۲۶.۸۲	۶۳٪	۳	۱۵
۴	۲۶.۶۴	۶۰٪	۴	۱۰
۵	۲۷.۴۴	۵۶٪	۷	۷
۶	۳۱.۹۹	۶۴٪	۸	۵
۷	۲۲.۰۶	۶۸٪	۹	۴
۸	۳۰.۵۸	۵۳٪	۹	۵
۹	۱۴.۳۹	۵۱٪	۱۲	۲
۱۰	۱۸.۵۴	۷۰٪	۱۲	۳
۱۱	۳۰.۰۱	۷۹٪	۱۲	۴
۱۲	۲۸.۳۱	۵۸٪	۱۶	۳
۱۳	۳۲.۲۰	۷۶٪	۱۶	۳
۱۴	۳۱.۱۲	۷۳٪	۲۰	۲
۱۵	۴۴.۳۵	۷۸۵	۲۰	۳

برای نمایش میزان موفقیت هر دو معیار مسافت و درصد یافتن نقاط مشکل‌دار در کنار یکدیگر، از (شکل-) بهره گرفته شد. در این نمودار هر نقطه نشان می‌دهد که

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]

به ازای پیمایش چه درصدی از مسیر، چه میزان موفقیت در پیداکردن نقاط دارای RSRP نامناسب به‌دست آمده‌است. محور x در این شکل، بیان‌کنندهٔ این است که هر آزمایش به چه میزان نسبت به درایوتست کامل، نیازمند پیمایش مسیر است. محور y نیز نشان می‌دهد که هر آزمایش، چند درصد از نقاطی که RSRP پایینی داشته‌اند را یافته‌است.

ارتباط معیار F با (شکل-) به این صورت است که هر چقدر شیب خطی از مبدا نمودار تا آن نقطه بیشتر باشد، این معیار بزرگتر است و آزمایش موفقیت بیشتری را نشان می‌دهد؛ بر این اساس آزمایش ۱۰، برترین آزمایش است در صورتی که آزمایش ۱۱ درصد پوشش نقاط بیشتری داشته‌است.

۵- نتیجه‌گیری

بیان شد که در شبکه‌های تلفن همراه درایوتست کامل یک منطقه، مستلزم صرف هزینهٔ مالی بسیار و زمان طولانی است؛ بدین‌سان در این مقاله، روشی برای بهینه‌سازی مسیری که در درایوتست پیموده می‌شود، معرفی شد. این روش چهار گام دارد که عبارت است از ناحیه‌بندی، انتخاب نقاط بحرانی، نگاشت نقطه بر نقشه، و یافتن مسیر بهینه؛ همچنین معیاری برای ارزیابی مسیر پیشنهادی متشکل از مسافت پیموده‌شده برای انجام درایوتست و پوشش نقاط نامناسب از دیدگاه توان دریافتی سیگنال در این مسیر معرفی شد. نتایج شبیه‌سازی حکایت از آن دارد که روش پیشنهادی در مقایسه با درایوتست کامل، به خوبی قادر است ضمن کاهش مسافت پیموده، درصد قابل قبولی از نقاط با وضعیت نامناسب از منظر توان سیگنال دریافتی را پیدا کند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که می‌توان با صرف زمان و هزینهٔ کمتر، به جمع‌آوری داده‌های مناسبی در شبکه‌های تلفن همراه در یک منطقه از شهر پرداخت و از آن‌ها برای بهینه‌سازی شبکه استفاده کرد. تمرکز این مقاله بر روی توان دریافتی سیگنال در شبکه‌های نسل چهار یعنی RSRP بود؛ گرچه در آینده می‌توان پارامترهای دیگر شبکه نظیر کیفیت سیگنال دریافتی (RSRQ) را نیز درنظر گرفت؛ همچنین، بررسی امکان استفاده از دیگر داده‌ها، به مانند عکس‌های ماهواره‌ای برای ناحیه‌بندی هوشمندانه‌تر محیط، به منظور انتخاب بهتر نقاط بحرانی، می‌تواند از دیگر زمینه‌های پژوهشی آینده باشد.

۸-مراجع 8-References

[1] A. Taufique, M. Jaber, A. Imran, Z. Dawy, and E. Yacoub, "Planning wireless cellular networks of future: Outlook, challenges and opportunities," IEEE Access, vol. 5, pp. 4821–4845, 2017.

[2] T. R. A. Network, "Study on minimization of drive-tests in next generation networks;(release 9)," *3GPP TR 36.805*.

[3] L. M. Silalahi, S. Budiyanto, F. A. Silaban, I. U. V. Simanjuntak, and A. D. Rochendi, "Improvement of Quality and Signal Coverage LTE in Bali Province Using Drive Test Method," in *2021 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 2021, pp. 376–380.

[4] M. Skocaj *et al.*, "Cellular network capacity and coverage enhancement with MDT data and deep reinforcement learning," *Comput Commun*, vol. 195, pp. 403–415, 2022.

[5] J. Thrane, M. Artuso, D. Zibar, and H. L. Christiansen, "Drive test minimization using deep learning with Bayesian approximation," in *2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, 2018, pp. 1–5.

[6] C. Sun, K. Xu, M. K. Marina, and H. Benn, "Gendt: mobile network drive testing made efficient with generative modeling," in *Proceedings of the 18th International Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies*, 2022, pp. 43–58.

[7] M. F. A. Fauzi, R. Nordin, N. F. Abdullah, H. A. H. Alobaidy, and M. Behjati, "Machine Learning-Based Online Coverage Estimator (MLOE): Advancing Mobile Network Planning and Optimization," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 3096–3109, 2023.

[8] P. Chao, Y. Xu, W. Hua, and X. Zhou, "A survey on map-matching algorithms," in *Databases Theory and Applications: 31st Australasian Database Conference, ADC 2020, Melbourne, VIC, Australia, February 3–7, 2020, Proceedings 31*, 2020, pp. 121–133.

[9] W. Li, Y. Chen, S. Wang, H. Li, and Q. Fan, "A Novel Map Matching Method Based on Improved Hidden Markov and Conditional Random Fields Model," *Int J Digit Earth*, vol. 17, no. 1, p. 2328366, 2024.

[10] S. Gupta, A. Rana, and V. Kansal, "Comparison of Heuristic techniques: A case of TSP," in *2020 10th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, 2020, pp. 172–177.

[11] N. Christofides, "The vehicle routing problem," *Revue française d'automatique, informatique, recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, vol. 10, no. V1, pp. 55–70, 1976.

[۱۲] ابراهیمی مود سپهر، جاویدی محمد مسعود، خسروی محمدرضا. ارائه الگوریتم جست‌وجوی گرانشی مقید و حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه. پردازش علائم و داده‌ها. ۱۴۰۰؛ ۱۸ (۴): ۳۶-۲۳

[12] S. Ebrahimi Mood, M. M. Javidi, and M. R. Khosravi, "Proposing a Constrained-GSA for the Vehicle Routing Problem," *Signal and Data Processing*, vol. 18, no. 4, pp. 23–36, Mar. 2022, doi: 10.52547/jsdp.18.4.23.

[13] E. B. Tirkolaee, A. Goli, S. Gütmen, G.-W. Weber, and K. Szwedzka, "A novel model for sustainable waste collection arc routing problem: Pareto-based algorithms," *Ann Oper Res*, vol. 324, no. 1, pp. 189–214, 2023.

[14] M. E. Johnson, L. M. Moore, and D. Ylvisaker, "Minimax and maximin distance

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]

designs," *J Stat Plan Inference*, vol. 26, no. 2, pp. 131–148, 1990.
[15] Neshan, "Map Matching API," 2023.
[16] Neshan, "Neshan Direction API Documentation."

علی نظری کارشناسی خود را در سال ۱۴۰۱ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک) تهران در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر به پایان رساند و از سال ۱۴۰۱، در حال تحصیل مقطع کارشناسی‌ارشد در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر و گرایش شبکه‌های کامپیوتری در دانشگاه علم و صنعت ایران است؛ همچنین ایشان به‌عنوان مهندس نرم‌افزار در شرکت‌های بله و دیوار مشغول به‌کار بوده‌اند.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:
ali4nazari4@gmail.com

مصطفی فلاح در سال ۱۴۰۲ مقطع کارشناسی‌ارشد خود را در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر و گرایش شبکه‌های کامپیوتری در دانشگاه علم و صنعت ایران آغاز کرد.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:
mostafa_fallah@comp.iust.ac.ir

محمدجواد طاهری کارشناسی خود را در سال ۱۴۰۱ از دانشگاه علم و صنعت ایران در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر به پایان رساند و در همان سال، تحصیل مقطع کارشناسی‌ارشد خود را در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر و گرایش شبکه‌های کامپیوتری در همان دانشگاه آغاز کرد.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:
taheri_mo96@comp.iust.ac.ir

ابوالفضل دیانت استادیار دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت ایران است. ایشان کارشناسی خود را در رشتهٔ مهندسی برق از دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۸ دریافت کرد. پس از آن، کارشناسی‌ارشد را در سال ۱۳۹۰ در رشتهٔ مهندسی برق - مخابرات رمز از دانشکدهٔ برق دانشگاه صنعتی شریف و دکترای خود را در رشتهٔ مهندسی نرم‌افزار از دانشکدهٔ برق و کامپیوتر دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۵ به پایان رساند. زمینه‌های پژوهشی ایشان شبکه‌های مخابرات بی‌سیم، شبکه‌های تلفن همراه، ارزیابی کارایی شبکه، امنیت و حفظ حریم خصوصی در شبکه است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:
adiyanat@iust.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-06-26]